ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.

ANNALES
DES
SCIENCES NATURELLES

CINQUIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

COMPRENANT

L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA CLASSIFICATION
DES VÉGÉTAUX VIVANTS OU FOSSILES

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

MM. AD. BRONGNIART ET J. DECAISNE

XI

PARIS
VICTOR MASSON ET FILS,
PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE
1869

ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

BOTANIQUE

MÉMOIRE SUR LES BACTÉRIES,

Par M. Hermann HOFFMANN,

Professeur de botanique à l'Université de Giessen.

(Traduit de la *Botanische Zeitung* de MM. Hugo de Mohl et Antoine de Bary, t. XXVII, nn. 15-20 [9 avr.-14 mai 1869], pl. IV.)

Après plusieurs années d'études et d'observations consacrées aux Bactéries, qu'il me soit permis de faire connaître aussi brièvement que possible le petit nombre des résultats positifs que j'ai obtenus de ces difficiles recherches. J'aurai ainsi occasion de montrer dans quelle direction de nouvelles études pourraient être tentées avec le plus de chances de profit, et quels écueils doivent surtout être évités. Les principales difficultés du sujet consistent d'abord en ce que les Bactéries sont d'une extrême ténuité et tellement répandues partout qu'il est presque impossible de mettre à l'abri de leur invasion nos cultures artificielles; mais ces difficultés sont encore et principalement dans l'inextricable confusion d'opinions auxquelles a donné lieu, en ces derniers temps, l'histoire de ces productions. Si quelqu'un s'étonnait que des recherches variées et longtemps poursuivies comme les miennes l'ont été, n'eussent pas conduit jusqu'à présent à plus de connaissances précises, celui-là ne se serait sans doute pas

occupé sérieusement du sujet. Il m'a semblé d'ailleurs plus prudent, quoique moins flatteur peut-être pour l'amour-propre, de ne rien écrire qui ne fût parfaitement sûr, et j'ai craint d'amoindrir la valeur des faits positifs en y mêlant ce qui ne m'eût semblé que probable ou vraisemblable. La nature même du sujet ne nous permet d'y avancer qu'à petits pas; elle nous oblige à faire halte souvent pour nous livrer à des revues critiques, afin d'éviter les fausses routes toujours nombreuses et de séparer soigneusement l'erreur de la vérité.

Quant à l'importance de la question des Bactéries, je n'ai pas besoin d'insister pour la faire apprécier ; effectivement, elle n'est pas devenue une sorte de pierre angulaire seulement pour une partie de la mycologie, comme beaucoup l'imaginent, mais bien encore pour la pathologie humaine; toutefois son intérêt principal lui vient de la théorie des générations spontanées qui est aujourd'hui, en quelque sorte, le foyer des spéculations philosophico-naturelles, car cette théorie, qu'on peut qualifier d'hypothèse touchant l'origine et la succession ou l'évolution et la descendance des êtres organisés, s'étaye d'ordinaire, comme on sait, sur le développement des organismes inférieurs tels que les Bactéries et leurs analogues.

I. A proprement parler, nos connaissances positives en ce qui regarde les Bactéries en sont encore au point où les ont amenées d'abord les travaux d'Ehrenberg et de Dujardin, puis les recherches beaucoup plus récentes de M. Cohn. A part quelques légères divergences d'opinion relatives aux essais infructueux tentés pour classer méthodiquement les Bactéries et leurs alliés manifestes, les Vibrions et certaines Monades, tous les observateurs conviennent que nous avons affaire ici aux organismes les plus simples et les plus petits que l'on connaisse, que ces êtres sont généralement incolores, qu'en beaucoup de cas ils manifestent à n'en pas douter des mouvements spontanés de translation, qu'ils se multiplient par division et qu'ils vivent tantôt isolés, tantôt groupés au sein d'une masse muqueuse ou gélatineuse.

II. La question est longtemps restée douteuse, de savoir si les Bactéries ont vraiment une structure cellulaire ou si elles ne sont que des bâtonnets solides. Déjà quand je fis connaître mes premières recherches sur ces productions (1), j'exprimai à cet égard une opinion fondée sur des observations certaines; les Bactéries, disais-je, ne font point exception au type cellulaire des autres êtres organisés végétaux; aujourd'hui, je puis confirmer cette appréciation; les Bactéries possèdent une paroi et un contenu hétérogène. Quand ce contenu, qui est un *plasma* transparent, se coagule en partie, comme il arrive parfois, ou disparaît, il est remplacé par de l'air qui dessine précisément la forme de la cellule bactérienne normale; c'est alors qu'on demeure parfaitement convaincu de l'exactitude de ma manière de voir.

III. Les dimensions des Bactéries ont souvent été mesurées, pourtant ces mesures sont presque sans valeur, car la petitesse de ces êtres est fréquemment telle que leurs proportions en longueur ou en largeur sont comprises dans les limites des erreurs possibles d'observation, et de plus les Bactéries d'inégal volume, comme il s'en trouve souvent dans le même liquide ou sur le même *substratum*, offrent entre elles des individus qui servent de transition des plus petites aux plus grandes. Cette considération m'a déterminé à négliger tout à fait les désignations d'Ehrenberg et la méthode essentiellement différente de Dujardin, j'ai préféré partager les Bactéries linéaires baculiformes en trois catégories principales, laissant à part les Bactéries-Monades.

Mon premier groupe est celui des *Microbactéries* (fig. 1), qui a pour type le *Bacterium Termo* d'Ehrenberg (*Mém.*, 1830) (2).

(1) Voyez la *Botanische Zeitung* de Berlin pour l'année 1863, p. 304.

(2) *Vibrio Lineola* Ehrenb. *Infus.*, 1838, p. 79, pl. V, fig. 4; *Bacterium Termo* Dujard. (*Zooph. Infus.*, 1841, p. 212, pl. I, fig. 1), forme à laquelle je rapporte aussi le *B. Catenula* du même auteur (*loc. cit.*, fig. 2). Cette Bactérie se retrouve sous le même nom dans Perty (*Kenntn. d. kleinst. Lebensf.*, 1852, pl. XV, fig. 33-36) et chez la plupart des auteurs modernes, sous celui de *Zooglœa Termo* dans Cohn

Le second comprend les *Mésobactéries* (fig. 5), auxquelles appartiennent, suivant moi, les *Bacterium Enchelys* et *Punctum* d'Ehrenberg (*Infus.*, pl. V, fig. 2 et 3), son *Vibrio tremulans* (*ibid.*, fig. 5), puis les *Vibrio Lineola*, *Rugula*, *serpens*, *Bacillus* et *ambiguus* de Dujardin (*op. cit.*, fig. 3-7); c'est aussi là qu'est la place des Bactéridies de M. Davaine (*Recherches sur les Vibrioniens* [1]), et de tout ce que l'on qualifie généralement, après Gleichen, de *Vibrion* (*Vibrio Bacillus* Rabenh., *Fl. Alg.*, II, 7, av. fig.). Enfin il m'est arrivé une fois de rencontrer des *Macrobactéries* dans de l'eau miellée croupissante, mais exempte de végétation fongine. Ces trois groupes ont à peu près une égale ressemblance avec les *Leptothrix*, quand les Bactéries sont réunies en chapelets.

L'épaisseur des Bactéries, à quelque type qu'elles se rapportent, grandit proportionnellement à la longueur de chaque article isolé ou de chaque cellule ; cependant cette dernière dimension n'est nullement constante, car elle peut varier du simple au double pour la même largeur.

Le poids spécifique des Bactéries doit peu différer de celui de l'eau. Isolées ou associées en chapelets, on les voit tantôt reposer sur le fond des vases, tantôt flotter à diverses profondeurs dans le liquide qui les contient, et suivre tous les mouvements qu'on lui imprime.

IV. Les Bactéries se rencontrent toutes en deux états différents; elles sont agiles ou immobiles ; l'état de repos est aussi fréquent que l'autre, et l'on n'en saurait conclure, sans d'autres constatations, la mort des Bactéries qui le présentent. Jamais on ne trouve de Bactéries en mouvement, sans en apercevoir auprès d'immobiles ; celles-ci sont alors généralement privées de vie. Souvent aussi rencontre-t-on de grandes colonies ou groupes volumineux pleins de vie, et manifestement en voie d'accroissement et de multiplication, quoiqu'ils ne trahissent pas la moindre disposition à se mouvoir.

(*N. Acta Acad. N. Cur.*, XXIV, I, 1854, p. 118 et 246, pl. XV, fig. 9); c'est le *Vibrio Bacillus* de Wyman (*Sillim. Journ.*, 1867, sept., p. 159).

(1) Voyez la *Botanische Zeitung* pour 1865, p. 122.

Le passage de l'état agile à l'état de repos a naturellement lieu par la mort des individus. Si, dans une goutte d'eau pure dont on prévient l'évaporation, on place un nombre aussi limité que possible de Bactéries agiles, on verra leurs mouvements se continuer pendant un ou deux jours, mais pas davantage. Leur mort semble alors la conséquence d'un défaut de nourriture. Si l'on réitère cette expérience avec un liquide propre à leur nutrition, leur multiplication commence aussitôt, et il devient impossible de distinguer les individus mis en expérience de ceux qui sont nés postérieurement. Il m'est arrivé, en employant une quantité plus considérable d'eau corrompue d'infusion de viande, de trouver encore, après cinq mois écoulés, des masses de petites Bactéries très-agiles ; de longs chapelets s'agitaient même çà et là en serpentant. Dans l'eau miellée, j'ai pu, au bout de six semaines, reconnaître encore quelques Bactéries douées de mouvement, le liquide offrant une réaction acide assez prononcée.

L'immobilité ou la mort des Bactéries peut aussi être déterminée par un empoisonnement avec le chloroforme, l'iode ou une autre substance, et aussi par l'asphyxie. Ces petits êtres ne peuvent vivre sans air, je veux dire sans oxygène ; si ce gaz leur manque, ils cessent de se mouvoir et ne se multiplient aucunement. Une goutte liquide pleine de Bactéries est-elle déposée sur une lame de verre, puis recouverte d'une lamelle plus mince, alors les Bactéries agiles se rapprochent toutes peu à peu des bords de cette lamelle, et c'est là qu'au bout de quelques jours, après la mort successive du plus grand nombre, on en trouve encore quelques-unes douées de vie et de mouvement. Si une semblable préparation est à la fois protégée, par un lut imperméable (1), contre la dessiccation et contre l'introduction de l'air atmosphérique, tout mouvement parmi les Bactéries a déjà ordinairement cessé au bout de deux minutes, pourvu toutefois qu'aucune bulle d'air n'ait été emprisonnée avec le liquide. Quand, en

(1) On parvient au résultat désiré en enduisant les bords de la lamelle protectrice, d'abord avec de la cire fondue, puis avec un mucilage visqueux fait de gomme et de chlorure de calcium dissous dans l'eau ; ce mastic sèche vite ; on peut y substituer avantageusement la laque à l'enduit de gomme.

effet, une bulle d'air a été retenue, si elle est, par exemple, du même volume que la goutte d'eau juxtaposée, alors le mouvement des Bactéries peut se continuer quelque temps; certaines d'entre elles s'agitent même pendant plusieurs jours, et l'on peut voir s'éteindre leurs dernières trépidations.

L'immobilité des Bactéries est aussi amenée par leur dessiccation. Des Bactéries complétement desséchées, seulement durant une minute, ne reprennent point leur agilité quand on les humecte. La température de l'eau bouillante les tue également lorsqu'elles sont humides.

Dans tous les cas précités, l'état d'immobilité des Bactéries n'est d'abord qu'une mort apparente, et si l'influence destructive ou nuisible à laquelle elles ont été soumises n'a été que passagère, cet état, pour plusieurs d'entre elles du moins, peut faire place à un renouvellement d'agilité. C'est ce qui a lieu, entre autres exemples, quand on expose les Bactéries à la chaleur de l'eau bouillante; elles y résistent très-bien jusqu'à un certain point, tout en conservant leurs mouvements. Un flacon contenant un liquide riche en Bactéries, et bouché d'un tampon d'ouate, ayant été chauffé, j'y pus observer encore des Bactéries agiles plusieurs jours après. Le même liquide, au contraire, étant versé avec un égal volume d'air, pour prévenir l'asphyxie des Bactéries, dans un tube de verre fermé ensuite à la lampe, puis chauffé jusqu'à 100 degrés, peu de minutes suffisent pour tuer sans retour toute la population des Bactéries. (Voyez la démonstration que j'ai donnée de ces faits dans la *Bot. Zeitung* pour 1863, p. 306.)

Enfin je dois encore noter chez les Bactéries un passage tout à fait normal de l'état vivant et agile à un état pareillement vivant, mais immobile, passage qui a lieu quand la végétation de ces corpuscules change de milieu ou de *substratum ;* quand, par exemple, elle est transportée d'un liquide très-fluide dans une liqueur semi-fluide ou sur un corps simplement humide. Si l'on dépose à la surface d'une tranche de pomme de terre bouillie des Bactéries très-agiles prises dans du jus de viande corrompu ou dans tel autre liquide qu'on voudra, alors ces petits corps y forment d'épais pulvinules muqueux d'une couleur jaune oran-

gée ou ocracée. Le mucilage qu'ils excrètent les recouvre étroitement, et malgré toute l'énergie vitale dont ils sont manifestement doués, tous ou presque tous sont sans mouvement.

Qu'à l'état de repos des Bactéries puisse succéder un état agile, c'est ce qui ressort de la considération suivante. Les Bactéries qui flottent dans l'air sont toujours, quand on les voit sous l'eau, privées de mouvement ; cependant, comme je le montrerai plus loin, c'est bien à ces Bactéries de l'atmosphère qu'il faut attribuer le développement ubiquitaire de ces productions, de celles qui sont agiles aussi bien que des autres. Quant à la démonstration directe du changement d'état dont nous parlons, elle est entourée de difficultés presque insurmontables. En général, quand j'ai mis dans l'eau, pour les observer avec suite, des Bactéries immobiles, mais certainement vivantes, parce qu'elles étaient manifestement dans une phase de multiplication, ces Bactéries ne donnaient pendant les premières heures aucun signe de mouvement ; le lendemain seulement, quelques-unes commençaient de s'agiter. Mais on ne peut rien conclure de là, car l'intervalle de temps écoulé avait pu suffire pour l'introduction de Bactéries agiles venues du dehors ; et le résultat obtenu eût été identique, lors même qu'on eût mis en expérience des Bactéries vraiment mortes, ou même une substance organique quelconque sans aucune Bactérie visible. Il n'est guère possible de se mettre absolument à l'abri des spores flottantes de *Penicillium*, si la même préparation doit être observée itérativement pendant plusieurs jours. On ne saurait d'ailleurs recourir à un lut parfait, sans faire aussitôt cesser tout mouvement des Bactéries. En quelques cas rares, j'ai vu dans une préparation de mucus jaune bactériophore des individus agiles se montrer au bout de deux à cinq heures et grandir : une semblable préparation m'a même fait voir de telles Bactéries après une ou dix minutes. Dans une autre circonstance, il a fallu cinq minutes ; j'observais alors du sang (étendu d'eau) emprunté au cadavre d'un malade mort de diphthérie, et ce sang était tout rempli de Bactéries. Une autre fois ayant mis dans une goutte d'eau, sous une mince lamelle de verre, une grande quantité de Bactéries

immobiles prises dans la croûte jaunâtre d'un petit fromage bien *fait*, laquelle fourmillait de ces corpuscules, j'ai constaté qu'au bout de vingt-quatre heures presque toutes ces Bactéries avaient quitté la région moyenne de la goutte d'eau, et s'étaient accumulées vers les bords de la lame de verre, évidemment attirées par l'air extérieur, et que là elles s'agitaient en tous sens d'une façon très-vive. Cependant, trois heures et demie après avoir fait cette préparation, je n'y avais point encore aperçu le moindre mouvement. Si, pour réaliser une expérience aussi précise que possible et pour écarter toute immixtion de corps étrangers, on asphyxie des Bactéries très-agiles, sous une lame de verre, par un lut imperméable, puis qu'une heure après on pratique des deux côtés des ouvertures dans le mastic pour permettre l'accès de l'air, les Bactéries ne redeviennent pas agiles, même au bout de vingt-quatre heures, comme je l'ai expérimenté deux fois ; peut-être l'air admis de cette manière était-il insuffisant. Une liqueur bactériophore vient-elle à être à moitié évaporée ou suffisamment concentrée pour que les Bactéries y aient perdu la possibilité de se mouvoir, si l'on humecte aussitôt ces corpuscules devenus immobiles, beaucoup d'entre eux redeviennent agiles en très-peu de temps. L'influence de la température paraît étrangère à ce phénomène, aussi bien que le changement de réaction chimique (acide, neutre ou alcaline) dans le transport des Bactéries d'un *substratum* sur un autre. On rencontre aussi parfois des Bactéries agiles dans les liqueurs les plus variées quant à leurs réactions chimiques. Je n'ai jamais vu le *Monas Crepusculum* redevenir agile après avoir cessé de l'être.

Le mouvement de la Bactérie simple est de deux sortes, en tant qu'on y peut distinguer le mouvement du corpuscule en lui-même et son mouvement de translation. Le premier consiste en une faible inflexion de la cellule baculiforme, comme le dit expressément Ehrenberg, mais il ne peut être observé directement et constaté sûrement que dans des circonstances rares ; on le reconnaît plus aisément chez les *Mésobactéries* que dans les autres formes de ces corpuscules. On peut conclure indirectement la réalité du phénomène d'inflexion dont nous parlons, de

ce que les Bactéries immobiles sont parfois courbées sur elles-mêmes (voy. fig. 1 *g*, 4 et 5*). Le mouvement de translation ou de déplacement est inégal dans sa vivacité, et semble quelquefois rapide comme l'éclair; il offre au plus haut degré le caractère spontané et libre; il a souvent lieu en droite ligne; il décrit aussi parfois des courbes et même des cercles en spirale, comme le vol du faucon.

Les plus longues Bactéries comme les plus courtes nagent semblablement sans tourner sur elles-mêmes, et elles se meuvent aussi bien en arrière qu'en avant; d'ailleurs il n'y a pas lieu chez ces corpuscules de distinguer une partie antérieure et une partie postérieure. On en voit très-rarement qui semblent bondir ou sauter. Il faut noter aussi, comme particulier, le mouvement de la Bactérie qui, fixée par un bout et libre par ailleurs, se tient debout, élevant en haut son extrémité libre; celle-ci qui semble un point, vue d'en haut, décrit des mouvements circulaires très-vifs à la manière de l'aiguille d'une montre. Le mouvement de la Bactérie simple, quand elle ne change pas de place, est un mouvement oscillatoire ou de balancement, et on l'a assez justement comparé à celui des poissons; pour M. Trécul c'est un mouvement de bascule.

Quand deux ou plusieurs Bactéries sont réunies en manière de chaînette ou de collier, leur mouvement, s'il est suffisamment lent, semble décrire des zigzags; plus rapide, il serpente ou ondule. Si le chapelet offre beaucoup d'articles, son mouvement est sensiblement ralenti. Parfois, il arrive que sa partie antérieure est seule agile et qu'elle traîne après elle le reste du chapelet comme une masse privée de vie; ainsi dans une chaînette composée de trois articles, l'article terminal d'un côté peut remorquer les deux autres devenus inertes. On rencontre aussi de temps en temps des chapelets assez longs entortillés ensemble et qui se meuvent en tournant sur eux-mêmes (fig. 1 *d*). Les grands chapelets, ceux qui ont plus de trente fois la longueur d'un article, sont toujours privés de mouvement.

Le mouvement des Bactéries n'a pas toujours les caractères normaux que nous venons de lui assigner, il ne semble pas

toujours un mouvement vital; assez souvent il est si faible qu'il faut beaucoup d'attention pour éviter une méprise. En ce qui touche la confusion facile qu'on en peut faire avec le mouvement purement moléculaire, j'ai déjà signalé les caractères qui l'en distinguent (1), et je n'ai pas l'intention de revenir spécialement sur ce sujet. J'ajouterai seulement ici que la cause du mouvement moléculaire est restée pour moi fort obscure (2). Les courants dus à l'évaporation du liquide ont probablement quelque influence sur le phénomène, mais ils ne le déterminent pas nécessairement, car même sous une lame de verre bien lutée le mouvement moléculaire persiste pendant des semaines, tout en s'affaiblissant peut-être insensiblement. Néanmoins, il ne prend pas fin dans un court espace de temps, à la manière des mouvements réellement vitaux, ce qui dans les cas douteux fournit un moyen d'assurer son jugement. Les Bactéries du lait offrent pourtant ici une exception qu'il faut signaler. Si l'on verse dans une éprouvette du lait frais, bouillant, à réaction neutre, puis par-dessus une couche d'huile de pavot de 6 centimètres d'épaisseur, quelques jours après le lait est complétement caillé, il est faiblement acide et n'exhale aucun gaz ; on y trouve une innombrable quantité de Bactéries très-petites ou de moyenne grandeur, d'ailleurs fort inégales en longueur, et cependant le liquide doit contenir très-peu d'air. Les mouvements très-vifs de ces corpuscules prennent toutes les allures, depuis celle des Microbactéries relativement rigides, jusqu'à celle des plus grandes Bactéries courbes ou infléchies qui serpentent à la manière des Vibrions. Pour la forme et le volume, elles ne diffèrent pas des Bactéries que contient le mucus buccal et de celles qu'on observe communément dans le lait aigre. Si l'on renferme une goutte de ce lait entre deux lames de verre en lutant soigneusement les bords de la lamelle supérieure et en excluant autant

(1) Voyez la *Botanische Zeitung* de Berlin, pour l'année 1863, p. 305.

(2) D'après les opinions qui dominent aujourd'hui dans la thermo-physique, le mouvement moléculaire devra sans doute être simplement considéré comme l'expression visible de l'état liquide. Voyez, entre autres auteurs, Chr. Wiener dans les *Annales de Physique et de Chimie* de Poggendorff, t. CXVIII (1863), p. 85-91.

que possible toute bulle d'air, on constate qu'au bout de plusieurs heures les Bactéries se déplacent encore avec plus ou moins de vivacité; leur mouvement ne cesse absolument qu'après environ douze heures. Quand on laisse une goutte du même lait exposée à l'air sans la recouvrir autrement que par un gobelet de verre humide pour en prévenir l'évaporation, le mouvement des Bactéries se continue aussi pendant plusieurs heures, ce qui prouve que l'oxygène de l'air ne leur nuit pas comme on le présumerait. Après douze heures écoulées, les Bactéries étaient encore très-agiles.

J'ai cru reconnaître une des causes du mouvement moléculaire dans le gonflement des petits corps qui le présentent; d'ailleurs ces corps peuvent atteindre un certain volume, témoins les spores du *Mucor stolonifer* et les cellules de la levûre, les unes et les autres plus lourdes que l'eau. Peu importe que le gonflement dans l'eau conduise insensiblement à une dissolution effective et complète, à une simple macération ou à une saturation de la substance immergée par le liquide ambiant, auquel cas il suffit de peu de jours pour amener un repos complet et persistant. Cette interprétation ne saurait, au contraire, s'appliquer au mouvement moléculaire, pourtant très-vif, de certains corpuscules absolument insolubles dans l'eau, tels que les fines gouttelettes de beurre et plusieurs cristaux. On peut dire la même chose du mouvement des cellules de levûre dans la glycérine.

Quand les mouvements des Bactéries sont lents, il n'est pas toujours aisé de s'assurer qu'ils sont indépendants de celui du liquide dans lequel flottent ces corpuscules; il est rare, en effet, qu'en transportant la préparation à examiner, nue ou recouverte d'une lamelle de verre, sur la platine du microscope, on n'y détermine pas quelque agitation, quelque courant hydrostatique qui entraîne même les Bactéries inertes et les pousse d'un côté ou d'un autre, jusqu'à ce que ces petits corps rencontrent un obstacle quelconque, tel qu'un filament de *mycelium* ou les bords de la goutte liquide observée; là ils s'accumulent par milliers comme les feuilles que l'automne répand à la surface des ruisseaux, et que les branches qui y plongent arrêtent dans leur

course. Ce phénomène a fait croire à certains observateurs que les Bactéries et leurs analogues s'échappaient de l'intérieur de certains filaments fongins où elles se seraient engendrées aux dépens du *plasma*. Mais on remarquera que ces corpuscules se rangent aussi bien le long d'un fil de soie qui sera tombé par hasard sur le champ du microscope.

Enfin qu'on me permette de noter encore comme une cause d'erreur à éviter les mouvements qu'imprime involontairement au liquide des préparations la respiration de l'observateur; il en résulte effectivement un va-et-vient qui correspond au rhythme de l'inspiration et de l'expiration, et qui est moins causé, paraît-il, par le choc mécanique de l'air expiré que par la chaleur qu'il possède. On obtient un résultat tout semblable en approchant et en éloignant alternativement de la préparation observée un bâton de verre chauffé au feu ou tout autre corps doué d'une chaleur sensible. Le phénomène dont il s'agit serait donc un phénomène thermique. Il va de soi-même que toutes les causes d'erreur que je signale acquièrent encore plus d'importance si l'observateur fait usage d'un objectif *à immersion*, auquel cas, quand on recouvre l'objet étudié, la lamelle de verre employée flotte, plus ou moins, entre deux gouttes liquides; la préparation non recouverte est plus flottante encore.

V. *Habitus, aspect extérieur des Bactéries.* — Quand de grandes masses de Bactéries se trouvent réunies, elles deviennent visibles à l'œil nu ; seulement leur aspect varie beaucoup avec les circonstances extérieures. Si le liquide est limpide, ces corpuscules y déterminent généralement un trouble uniforme ; c'est, par exemple, ce qui a lieu pour l'eau miellée bouillie qui est restée quelque temps dans un vase de verre recouvert. La liqueur d'abord claire commence à se troubler au bout de un à quatre jours, suivant la température ambiante, et sans qu'aucune production de gaz ait lieu. Cette opacité naissante est due à des millions de Bactéries simples très-agiles et à une moindre quantité de petits chapelets de ces corpuscules. Tant de vies dans un étroit espace est un spectacle prodigieux, et cependant il suffit

d'un souffle pour l'anéantir. Après une ou plusieurs semaines, la liqueur miellée redevient limpide, mais elle est alors beaucoup plus acide qu'au début de l'expérience; toutes les Bactéries reposent immobiles (mortes?) sur le fond du vase, sous forme d'un dépôt blanchâtre et très-mince. Les mêmes phénomènes se produisent dans l'eau où de la chair s'est corrompue; ce sont les mêmes formations, mais la réaction de la liqueur est alcaline. Les Bactéries et le *Monas Crepusculum* se développent très-fréquemment dans les préparations microscopiques que l'on conserve humides; ces corpuscules y apparaissent souvent épars çà et là, et ils se refusent à une recherche facile, surtout s'ils sont privés de mouvements. En d'autres cas, ils forment des groupes et se condensent en de petits tas, comme c'est particulièrement la coutume du *Monas Crepusculum*. Ces agglomérations n'opposent pas de résistance à la plus légère pression, elles se décomposent aussitôt en corpuscules similaires remarquables par leur réfringence et qu'on ne saurait guère distinguer des granulations d'un détritus quelconque ou des granules de la caséine (fig. 19 *a*). Parfois, et sans causes appréciables, le phénomène est autre, quoique dans un même liquide, si celui-ci est resté en repos plusieurs mois; c'est ce que montre une décoction très-étendue de colle forte et de sucre de canne, si par l'ébullition, sous un tampon d'ouate, on en a écarté toute végétation fongine. On obtiendra le même résultat de la décoction de foin ou de colle de pâte qui sont l'une et l'autre alcalines, de l'eau miellée qui est acide, etc. Au bout d'un certain temps, il se forme dans ces liqueurs, à diverses profondeurs, des troubles nuageux, qui imitent un *mycelium* aquatique très-délié, mais qui n'offrent cependant aucun appendice filamenteux. En versant la liqueur sur une lame de verre et en la laissant s'écouler avec précaution, on retient éparses sur le verre des bribes ou des gouttelettes de mucus incolores, inégales de volume et d'une faible cohésion. Elles sont faites de molécules mucilagineuses microscopiques remplies d'articles isolés ou de courts chapelets de *Monas Crepusculum* et de Bactéries, tantôt presque exclusivement de l'une ou de l'autre sorte de ces corpuscules, tantôt des deux réunies à peu

7

près dans la même proportion (fig. 8). Les articles, sans offrir de direction commune, mais également distants les uns des autres et non pressés, sont plongés, immobiles, dans un mucus incolore qui, comme il n'existait point avant eux, et ne se rencontre jamais sans eux, ne peut devoir qu'à eux sa formation. Il est digne de remarque que malgré la nature aqueuse du liquide où elles se trouvent, les Bactéries simples n'ont aucune tendance à se séparer les unes des autres, autrement on comprendrait difficilement l'accroissement continu des colonies muqueuses et compactes de ces corpuscules. Il ne m'est arrivé que très-rarement de voir dans l'eau ambiante des Bactéries agiles. La fuchsine dissoute dans l'eau vinaigrée, de même qu'une solution de carmin, colorent au bout d'un certain temps ces petits organismes en rouge intense, tandis que le mucus qui les environne reste incolore.

VI. Des Bactéries peuvent être retirées de liqueurs acides, neutres ou ammoniacales et cultivées sur un support humide, sans être absolument mouillé, par exemple, sur un fragment de pomme de terre bouillie, tenu renfermé dans un tube (*Dunstrohr*) comme celui dont j'ai conseillé l'emploi pour de telles expériences (1). Au bout de quelques jours on obtient ainsi une nouvelle colonie de Bactéries sous forme d'un mucus très-gluant, à peine divisible avec une aiguille, habituellement de couleur orangée ou ocracée, quelquefois partiellement teinté de violet ou de carmin. La structure microscopique de ce mucilage est identique avec celle dont nous parlions tout à l'heure (fig. 9 *b*); la réaction en est toujours légèrement alcaline, ce qui paraît dépendre d'une faible production d'ammoniaque, laquelle ne pouvant être attribuée au *substratum* employé, ne saurait l'être qu'aux Bactéries (vivantes) et aux Monades. La mucosité en question est sans odeur, jusqu'à ce qu'elle s'altère, encore est-elle rarement fétide; son aspect rappelle la matière du cerveau (fig. 9), elle recouvre son support d'une couche épaisse, vers le milieu, d'un millimètre au plus et assez semblable au *Thelephora*

(1) Voyez la *Botanische Zeitung* pour 1865, p. 348, fig. A.

hirsuta ou au *Thelephora sanguinolenta* quand ils sont humides; cette couche s'étale en perdant de sa consistance jusqu'à un centimètre autour de son centre. Si les circonstances sont favorables à son développement, quelques mois suffisent pour donner à ce mucus un volume égal à celui de son support; quand on l'en détache, ce qui est parfois facile, on trouve le fragment de pomme de terre légèrement modifié dans sa forme et son volume; sa couleur est devenue plus obscure, sa substance transparente et un peu molle. La masse mucilagineuse consiste surtout en Microbactéries isolées; elle renferme aussi des chapelets bactériens de six à dix articles, et le *Monas Crepusculum* dont les formes diverses sont inégalement réparties et semblent s'exclure réciproquement. Tous ces corpuscules sont ordinairement privés de mouvements spontanés, mais ils présentent dans l'eau une trépidation moléculaire très-vive; je n'ai point vu celle-ci, même au bout de quatre heures, se transformer en mouvements vraiment spontanés. L'ammoniaque ajoutée à la préparation n'y change absolument rien; elle ne dissout pas le mucilage bactériophore. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'on rencontre sur les fragments de pomme de terre employés des parties muqueuses plus fluides qui peuvent contenir des Microbactéries agiles. Ces fragments ne se dessèchent dans le tube à expérience qu'au bout de six mois et même davantage, encore que le tube ne soit bouché que par un tampon d'ouate. D'ailleurs leur dessiccation ne met point fin au développement des Bactéries. Celles-ci possèdent encore un mode de végétation que j'appellerai aérien (*Luft-Vegetationsform*), au moyen duquel leur accroissement arrive à un état définitif et permanent. Peu à peu, en effet, apparaissent des sortes d'îlots que vous diriez de craie blanche et qui rappellent le *Thelephora calcea*. Par suite de sa dessiccation complète, la substance de la pomme de terre devient dure comme de la corne; ses cellules sont encore reconnaissables, mais jusqu'à une certaine profondeur dans les tissus, elles ne renferment plus de fécule solide ou dissoute; elles ne contiennent qu'un détritus granuleux extrêmement ténu, doué de mouvement moléculaire et que l'iode colore en jaune, si la

matière est rendue acide ; on y voit aussi des *Bacterium Termo* et le *Monas Crepusculum*. La surface de ce *substratum* est alors comme recouverte d'un velours de filaments hauts d'un demi-millimètre et d'un blanc pur qui a toute l'apparence d'un *mycelium* très-ras ; mais ce velours est exclusivement formé de chapelets multipartis de *Monas Crepusculum* (fig. 20), de *Bacterium Termo* (fig. 1 *e*) et de Bactéries de formes intermédiaires (fig. 13). Ces chapelets s'élèvent librement dans l'air, simples pour la plupart, et aussitôt qu'ils sont mis sur l'eau, ils se dissocient et se partagent, soit en chapelets moindres, soit en articles isolés. Mais si on les humecte d'abord avec de l'alcool ou de l'éther, puis avec de l'eau, les chapelets persistent dans leur intégrité; ils ne se détruisent même pas par l'addition de l'acide sulfurique, sans doute par suite de l'état granuleux que l'alcool a communiqué au mucilage qui soude entre eux leurs articles constitutifs. L'iode seul ou l'iode employé après l'acide sulfurique colore, comme toujours, ces chapelets en jaune d'or. Ainsi par une culture artificielle sur le tissu de la pomme de terre, dans un tube approprié, on obtient du mucus bactériophore et des chapelets aériens de Bactéries.

J'ignore s'il y a quelque phase ultérieure de développement ; toutefois mes expériences les plus sûres ne m'ont jamais fait voir de Champignon tirant son origine des Bactéries. Ce n'est pas que dans le cours des cultures artificielles auxquelles je me suis livré, notamment pendant celle que j'ai faite des Bactéries du *sang de rate* (*vom Milzbrandblute*) et de quelques autres, il ne soit survenu des moisissures (fig. 10 et 11) dont les conidies imitaient parfois la forme et l'exiguïté des Mésobactéries; mais comme ces séminules ne formaient jamais de chapelets, comme d'autre part l'apparition accidentelle de tout autres Champignons, de *Penicillium*, par exemple, décelait bien évidemment une origine étrangère, la survenance, d'ailleurs très-peu fréquente, des moisissures dont je viens de parler ne m'inclina point à supposer entre elles et les Bactéries une connexion plus intime. Ces sortes de *mycelium*, d'après la place que la systématique leur accorderait, sont naturellement d'une nature très-douteuse. En étudiant la germina-

tion polymorphe et très-inégale du *Penicillium glaucum* (fig. 17), il m'a semblé rencontrer des cas (fig. 17 *d*) qui auraient peut-être fait soupçonner quelques rapports entre cette mucédinée et les Bactéries; mais il n'est pas douteux que de telles formes initiales appartiennent aussi à d'autres groupes de champignons. Ces formes eussent été rangées par les anciens mycologues parmi les *Sporotrichum*.

En ce qui touche l'analogie de forme des Bactéries avec les spermaties de beaucoup de Lichens et de Champignons, on ne saurait manifestement en tirer aucune conséquence. Inutile aussi de parler de la transformation supposée du *Monas Crepusculum* ou des Bacteries en levûre. Ces corpuscules n'ont pas plus de rapports réels ou appréciables avec les *Spirillum*. Si, comme je l'admets, le cycle formel de toutes ces productions est terminé ou épuisé, elles appartiennent aussi bien par leur structure que par l'histoire de leur développement aux organismes les plus simples, et sont, en effet, de tels organismes. Toutefois la simplicité de leur organisation les rapproche des Frustulies et autres Algues inférieures qui offrent aussi des alternatives d'immobilité et d'agilité. Il y aurait bien moins lieu de les comparer aux cellules de la levûre, car celle-ci rentre dans le type des moisissures les plus vraies, ainsi que je l'ai déjà démontré, et comme les observateurs s'accordent de plus en plus à le reconnaître.

VII. *De la forme des Bactéries.* — En général, on rencontre plus fréquemment des Bactéries simples ou isolées que des associations de ces corpuscules sous forme de chapelets. Les formes que j'ai eu occasion d'observer sont les suivantes :

1. *Monas Crepusculum* (Ehrenb., *Infus.*, pl. I, fig. 1).—Après l'étude attentive que j'ai faite de ce corpuscule, il m'est impossible de le séparer du groupe des Bactéries; d'abord il les accompagne presque toujours, et, d'un autre côté, j'ai vu maintes fois les chapelets bactériens ordinaires composés de bâtonnets, se partager en petits articles arrondis, tellement que ces articles ne pouvaient plus, par la forme seule, être distingués du *Monas Cre-*

pusculum ; je dois pourtant ajouter que, en général, l'éclat des chapelets de *Monas* (1) est autre que celui des chapelets de Bactéries, tant dans l'air que dans l'eau, dans une bulle d'air saturée de vapeur aqueuse ou dans l'alcool. Les filaments bactériens ont un éclat verdâtre, les chapelets monadaires sont d'un brun pourpre. Les chapelets bactériens sont surtout flexueux (fig. 1 *e*); ceux des *Monas* plutôt rectilignes ou infléchis en courbes simples (fig. 20). En troisième lieu, les Monades opposent à l'action de la chaleur, comme aux influences asphyxiantes et destructives, exactement la même résistance que les vraies Bactéries. Enfin les Monades agiles, car il s'en rencontre de telles, quoique rarement, offrent le mouvement oscillatoire ou gyratoire qui appartient aux Bactéries. Les articles isolés du *Monas Crepusculum* sont ovales et dépourvus de cils, même quand ils sont vus sous un grossissement de 1700 diamètres et sous une lentille à immersion. Quand ils sont associés en chapelets, leur ordonnance affecte, ce semble, deux modes distincts ; tantôt, en effet, les articles paraissent alignés longitudinalement, tantôt transversalement ; parfois les deux arrangements coexistent dans le même chapelet (fig. 14). Il y a ici de nouvelles recherches à poursuivre.

2. *Bactéries.* — Les Bactéries simples ou isolées sont fréquemment d'inégale longueur et plus souvent encore d'inégale grosseur; elles sont cylindriques, rarement claviformes ou munies d'une sorte de tête, ce qui peut bien dépendre en partie de ce que l'une des extrémités ou toutes les deux à la fois seraient faiblement recourbées. L'épaissseur ou le diamètre transversal de ces corpuscules n'est pas même une chose constante et permanente, car il m'est arrivé une fois de reconnaître par un examen com-

(1) Dans l'ouvrage classique d'Ehrenberg, ces chapelets figurent sous les noms de *Vibrio Rugula* (pl. V, fig. 7), *Vib. subtilis* (fig. 6), *Vib. Bacillus* (fig. 9) et *Vib. prolifer* (fig. 8); l'illustre auteur les décrit comme des chapelets mobiles, mais d'ailleurs identiques ; pour moi je n'ai jamais vu de ces longs chapelets doués de mouvement, et je ne saurais non plus dire à quelle espèce ils appartiennent précisément. Wyman parle aussi du mouvement d'un long chapelet (*Sillim. Journ.*, septembre 1867, p. 159, fig. 3). Ehrenberg dit d'une manière générale du *Monas Crepusculum* qu'il est très-agile, globuleux et carnivore (!).

paratif que des microbactéries du *sang de rate* s'étaient en vingt-quatre heures gonflées dans l'eau au point de paraître deux fois plus grosses qu'auparavant, sans cependant avoir sensiblement changé de forme. Quelques articles isolés étaient devenus faiblement capités aux deux bouts (fig. 6). Ayant donc égard à la présence simultanée, fréquente, tant de formes diverses que de formes intermédiaires, j'ai pu, comme je l'ai annoncé plus haut, désigner d'une manière générale ces corpuscules, d'après leur volume, par les termes de micro-, méso- et macrobactéries. Ehrenberg suppose que les bâtonnets isolés ou Bactéries simples, sont eux-mêmes composés de très-courts articles ayant pour diamètre le diamètre même du bâtonnet (*Infus.*, p. 79). Je ne puis ne pas contredire cette opinion que personne, d'ailleurs, n'a adoptée. Elle repose, en effet, sur une erreur causée par la coagulation du *plasma*.

Les Bactéries, quand elles sont associées plusieurs ensemble, sont toujours distribuées en séries ou chapelets dans le sens de leur longueur, et ceux-ci, le plus souvent, restent simples; de tels chapelets constituent les *Leptothrix* des auteurs, notamment les *L. buccalis*, *intestinalis* et autres que l'on observe dans les dents, les intestins, les crachats des phthisiques, etc. J'ai quelquefois rencontré ces mêmes chapelets certainement ramifiés (fig. 18), comme ceux des Monades que j'ai notés plus haut, car je me suis convaincu, en les faisant rouler entre deux verres sous le microscope, que leurs rameaux n'étaient point le fait d'une adhérence accidentelle; toutefois les Bactéries sont très-visqueuses et il n'est pas rare d'en voir de collées les unes aux autres pendant quelque temps, même sous l'eau et malgré leurs évolutions rapides; des sortes de luttes violentes résultent de ces adhérences fortuites (fig. 1, *c*). Il arrive aussi parfois que le même filament ou chapelet s'entortille sur lui-même, d'où peut naître l'apparence d'une ramification. Les Bactéries réellement ramifiées ne sont jamais agiles. Il est à noter qu'en certains cas, dans le lait par exemple et dans le sang charbonneux, on ne rencontre absolument que des chapelets sans rameaux, et qu'en d'autre milieux on en observe à la fois de tels et de ramifiés. J'en ai vu

de ramifiés dans de l'eau où un peu de levûre avait macéré, dans une décoction de foin qui s'était décomposée lentement, et dans beaucoup d'autres liqueurs. Je ne puis pour le moment assigner aucun autre caractère commun à ces divers cas, mais il serait trop long de les énumérer tous. J'ai encore reconnu la présence de quelques rares chapelets ramifiés parmi des filaments bactériens développés dans l'air à la manière de ceux du *Monas Crepusculum*.

L'accroissement, dans les chapelets principalement, est, autant que j'en ai pu juger, terminal, sans être exclusivement tel, et il est assez rapide (voy. la fig. 5 *d* et son explication). L'article qui grandit se multiplie par division, justement comme chez le *Monas Crepusculum*. L'article terminal, pour des raisons que je n'ai pu saisir, tantôt demeure adhérent, et il en résulte des chapelets vraiment gigantesques (fig. 5 *f*), tantôt, au contraire, se détache, soit en tombant simplement, soit en prenant un essor spontané. Dans ce dernier cas, qui est rare, l'article terminal sort brusquement de l'immobilité; il s'agite par un mouvement irrégulier de trépidation, puis rentre dans une immobilité parfaite pendant une demi-minute ou même plusieurs minutes, comme s'il se reposait réellement, et après quelques alternatives de cette sorte, tout à coup il s'élance, seul ou entraînant avec lui un ou deux autres articles, et il gagne le large.

Bien que es filaments ou chapelets soient constamment articulés ou cloisonnés, cette circonstance de leur organisation n'est pas toujours facilement reconnaissable; souvent les inflexions en zigzag du filament accusent manifestement une telle structure; quand elle semble douteuse, et même quand le filament est encore uniformément rempli d'un *plasma* homogène, plusieurs artifices peuvent déceler la présence des diaphragmes, la dessiccation, l'humectation réitérée, le traitement par des agents colorants, l'emploi du chlorure de calcium, de l'iode uni à l'acide sulfurique, de l'éther, de l'alcool, etc. Chez les individus âgés, morts depuis longtemps, on voit fréquemment certaines régions du filament entièrement dépourvues de *plasma*, de sorte que les

diaphragmes ne peuvent y être formés que par la paroi générale qui est excessivement ténue; quelquefois aussi le *plasma* se trouve condensé çà et là sous forme de nodosités, ou bien l'air finit par le dissoudre entièrement (fig. 12).

Le nombre des articles dans les filaments est tout à fait variable; il s'élève à plusieurs centaines chez les filaments ou chapelets les plus longs. J'en ai vu se former de semblables dans du sang charbonneux corrompu, dans le jus de la choucroute et autres liquides, parfois aussi sur le porte-objet même du microscope, dans des préparations recouvertes où avaient macéré des spores de *Mucor*, d'*Uredo*, etc.; en un mot, dans des circonstances où les liqueurs génératrices avaient été tenues en repos, tandis que dans les liqueurs qui fermentent on ne rencontre que de courts chapelets. Il y a encore ici beaucoup à observer.

Admettre qu'un corpuscule punctiforme ou globuleux puisse en s'allongeant devenir une Bactérie baculiforme est une opinion que les faits connus ne justifient pas encore.

VIII. C'est ici le lieu de dire quelques mots de ce que j'appellerai des *Pseudo-bactéries*, de ces corpuscules observés, si je ne me trompe, pour la première fois, par M. de Schlechtendal, dans les tubercules radiculaires du *Phaseolus multiflorus* (1) et que plus récemment M. Woronine a soumis à un examen approfondi (2). Les résultats obtenus par ce dernier s'accordent peu avec les observations que j'ai faites moi-même, au commencement du mois d'août, dans le *Vicia Ervilia*, des Lupins, le *Cytisus canariensis* et le *Vicia amphicarpa*. Chez toutes ces plantes les cellules dites bactériophores contiennent, en effet, une infinité de corpuscules qui par leur forme rappellent assez les Bactéries. Chez le *Vicia amphicarpa* les mêmes cellules renferment en outre des corpuscules assez différents des premiers, parmi lesquels il y en a de claviformes et de plus ou moins ramifiés et

(1) Voyez la *Botanische Zeitung* de Berlin pour 1852, p. 894.

(2) Voyez son mémoire *Sur les excroissances radiculaires de l'Aulne et du Lupin*, publié à Saint-Pétersbourg en 1866, et traduit dans les *Annales des sciences naturelles*, 5e série, t. VII, 1867, p. 73-86, pl. 6.

d'autres qu'on ne saurait distinguer du *Bacterium Termo ;* mais ces diverses formes se rattachent à la forme dominante par d'innombrables intermédiaires (fig. 15). Tous ces corpuscules n'offrent aucune structure celluleuse ni trace d'articulation ; jamais ils ne constituent de chapelets, tandis que les vraies Bactéries en offrent toujours quelques-uns. Chauffés dans l'eau, ils perdent la netteté de leurs contours, comme s'ils commençaient à se dissoudre, phénomène qui n'a jamais lieu avec les Bactéries sincères. Ils se colorent en jaune sous l'influence de l'acide sulfurique et de l'iode. Si l'on met une certaine quantité de ces mêmes corpuscules dans une goutte d'eau distillée parfaitement exempte de Bactéries et déposée sur un porte-objet préalablement rougi au feu (puis refroidi renversé pour qu'aucune Bactérie flottante dans l'air ne vienne à y tomber), cette préparation étant recouverte d'un verre mince également chauffé d'abord, et enfin conservée dans un appareil qui en empêche la dessiccation (*Dunstapparat*), on y découvre, dès le jour suivant ou un peu plus tard, des Bactéries agiles plus ou moins nombreuses, comme si les corpuscules bactérioïdes immobiles mis en expérience étaient devenus agiles. On s'étonne seulement devant ce spectacle que les formes principales ci-dessus signalées n'aient subi, pour le plus grand nombre du moins, aucun changement sensible et persévèrent plusieurs jours encore dans le même état; puis il ne faut pas oublier que neuf fois sur dix dans les expériences de cette nature et malgré tous les soins possibles, on trouve des Bactéries agiles tout à fait identiques, lorsqu'à la place des fragments de tubercules radiculaires en question, on emploie une matière organisée quelconque, de la chair cuite, du pain, du miel, des spores de champignons, un *mycelium*, etc. Les Bactéries flottent partout dans l'air de nos habitations, et nos méthodes actuelles d'expérimentation ne nous permettent pas de les éviter; de façon qu'il y a moins lieu de s'étonner de les rencontrer dans toutes nos préparations, que de ne les y point voir. D'ailleurs nous y trouvons également des êtres bien plus volumineux, tels, par exemple, que le *Monas Lens* Duj. (*Infus.*, 1841, pl. III, fig. 5; *M. Termo* Ehrb., *Infus.* pl. I, fig. 2), orné

de sa queue, et autres animalcules infusoires; les spores de Mucédinées font encore moins défaut, comme chacun sait. Je tiens donc la présence des Bactéries vraies observées par M. Woronine dans les tubercules radiculaires qu'il a disséqués, comme une circonstance tout accidentelle, et comme un phénomène consécutif à la décomposition et à la désagrégation du tissu parenchymateux de ces tubercules (1) lesquels n'ont été étudiés que vers le milieu du mois de septembre.

Je ne saurais rien dire de la nature réelle des *Amylobacter* de M. Trécul.

IX. *De l'origine des Bactéries.* — D'où viennent les Bactéries? Quand on prend le temps d'examiner avec attention une liqueur aqueuse quelconque, pourvu qu'elle soit impure et n'ait pas de qualités vénéneuses prononcées, on y découvre presque toujours des Bactéries agiles ou dépourvues de mouvement, aussi bien que le *Monas Crepusculum*. Il est vrai qu'il faut parfois une assez longue recherche pour constater la présence de ces corpuscules. Si l'on étudie de la même manière la poussière de nos habitations, celle qui se dépose sur les livres de nos bibliothèques, on l'agitera fortement avec de l'eau pure et le dépôt qu'elle y formera sera trouvé contenir des Bactéries isolées et le *Monas Crepusculum;* les Bactéries semblent en partie noires, parce qu'elles renferment de l'air.

M. Lemaire a aussi constaté la présence des Bactéries dans l'air en condensant par un refroidissement artificiel la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère de nos chambres. (Voy. les *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. LIX, 1864, p. 317-321 et 425.)

Comme les Bactéries prises dans l'air sont toujours immobiles, aussi bien, si je ne me trompe, que toujours simples ou à l'état d'articles isolés, il n'y a pas lieu de penser qu'elles soient nées dans l'atmosphère, et nous sommes forcés de chercher leur origine dans un milieu humide ou aqueux. On démontre aussi facile-

(1) Voyez le mémoire cité de M. Woronine, pl. II, fig. 15.

ment la présence des Bactéries dans le mucus nasal et la salive, mais elles peuvent y avoir été introduites par l'air respiré ou les aliments ingérés; le plus souvent elles y sont agiles. C'est également le cas de se demander si elles sont le fruit d'une génération spontanée, résultant de quelque transformation chimique des matières organiques sous des influences encore inconnues.

Mes observations sur les Bactéries sont à tous égards défavorables à l'hypothèse d'une génération spontanée. Non-seulement les expériences directes n'ont jamais donné que des résultats absolument négatifs, mais aussi toutes les observations ont conduit à des conclusions générales qui ne s'accordent pas dans cette hypothèse. Les opérations de la génération spontanée s'exercent, pense-t-on, de préférence sur les êtres les plus simples quoique très-résistants, sur des êtres en quelque sorte ubiquistes, tels que les Bactéries; or celles-ci même ont déjà une physionomie si distincte, des caractères morphologiques tellement précis dans leurs formes, leurs modes de développement et de multiplication qu'il nous faut absolument reconnaître que nous n'avons point là sous les yeux des formations rudimentaires, inconsistantes, dont avec le temps et des influences favorables tous les êtres imaginables pourraient sortir, mais bien des êtres nettement définis, constants dans leurs formes et qui n'ont pas moins que les êtres plus élevés qu'eux dans l'échelle organique et vivante des ancêtres et une postérité.

X. Malgré la haute portée de la thèse dont il s'agit, je m'en expliquerai ici brièvement, renvoyant à mes précédentes publications (1) le lecteur qui désirerait de plus amples informations. Je tiens d'ailleurs la question pour résolue aujourd'hui par des expériences irrécusables et spécialement par les suivantes que chacun peut facilement répéter et vérifier.

1. De l'eau miellée est renfermée avec un égal volume d'air

(1) Voyez la *Botanische Zeitung*, année 1860, n° 5; année 1863, n° 41; année 1865, p. 348; année 1867, p. 54; les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* de Paris, t. LX, p. 633, et t. LXIII, p. 929; les *Bot. Untersuch.* de M. Karsten, t. I, p. 341, et mes *Mykolog. Berichte* dans la *Botanische Zeitung*.

dans un tube de verre fermé à la lampe, puis plongé pendant quelques instants, une demi-heure ou environ, dans de l'eau bouillante. Nulle Bactérie ne se développe dans cette liqueur qui n'éprouve d'ailleurs aucune altération (*Bot. Zeit.*, 1863, p. 306). Cependant la quantité d'air renfermée est suffisante pour entretenir assez longtemps la vie d'une riche population de Bactéries, quand la liqueur n'a pas été chauffée, et celle-ci est en elle-même particulièrement propice au développement de ces petits êtres (1). Mais après l'ouverture de l'appareil d'innombrables Bactéries ne tardent pas à paraître.

2. Si l'on traite de la même manière du lait très-frais, on n'y trouve aussi, même au bout de deux ou trois ans, aucune Bactérie développée et ce lait demeure intact, absolument sans odeur et légèrement alcalin. Il y a également ici surabondance de matière alimentaire, la plus grande part de la caséine, comme on s'en peut assurer, est à l'état de dissolution complète; il y a aussi du sucre. Après l'ouverture du flacon, peu de jours suffisent pour faire apparaître des masses de Bactéries qui n'existaient pas au moment même de l'ouverture.

3. M. Wyman a démontré (2) que même l'ébullition ordinaire à l'air libre, pourvu qu'elle soit prolongée très-longtemps, produit les mêmes effets que l'ébullition en vase clos et sous la pression de la vapeur aqueuse. Cet expérimentateur faisait usage d'une infusion végétale qu'il soumettait à l'ébullition pendant cinq à six heures.

Remarque. A l'égard des Champignons dont la vie ne résiste

(1) J'ai même vu quelquefois dans l'espace limité dont je parle, la liqueur n'ayant pas été chauffée, se développer parfaitement une végétation fongine, entre autres celle du *Penicillium* qui se couvrit de fruits. Quand la liqueur a bouilli, on peut à peine supposer que le temps y amènerait un développement de Bactéries ou de Champignons, car, comme Gay-Lussac l'a montré, tout oxygène a disparu, même en l'absence d'un être organisé quelconque ; et plus récemment M. Pasteur s'est assuré que la végétation du *Penicillium glaucum* dans un espace clos y détruit ou consomme l'oxygène jusqu'à n'en pas laisser la moindre trace (voyez les *Annales de Chimie et de Physique* pour 1862, t. LXIV, p. 54).

(2) Voyez mes *Mykolog. Berichte* dans la *Botanische Zeitung* pour 1869, n. 14, art. 54.

pas à une température aussi élevée que celle des Bactéries, la preuve qu'ils ne naissent point d'une génération spontanée est plus facile à fournir, et si je ne me trompe, on admet généralement, du moins en Allemagne, que cette preuve a été faite d'une manière convaincante. Il y a pourtant des esprits qui doutent encore ; quelques adhérents de l'hypothèse Darwinienne croient malgré tout ne pouvoir se déprendre de la théorie que nous critiquons. Aucun de ces contradicteurs n'ayant, que je sache, montré d'erreur grave dans mes démonstrations, il m'est permis de ne pas tenir plus de compte de leur manière de voir que d'opinions purement personnelles. M. Nægeli tire de là la conséquence accoutumée et ses objections m'ont déterminé à entreprendre une série de nouvelles recherches dont je donnerai ici le résultat aussi brièvement que possible.

M. Nægeli s'exprime à peu près ainsi (1) : « De ce que dans une liqueur organisée, mise, après ébullition prolongée, à l'abri de toute nouvelle immigration étrangère, il ne se développe plus de Champignons, cela ne prouve point que de nouveaux Champignons ne puissent naître autrement que de Champignons préexistants. L'ébullition a sans doute détruit les Champignons qui pouvaient se trouver dans le liquide expérimenté, mais là n'est pas l'obstacle principal à l'apparition de nouveaux individus; l'obstacle véritable consiste en ce que la chaleur a rendu la substance organique incapable de subir les décompositions qui doivent entretenir la vie fongine. » Il y aurait donc là quelque chose de comparable au phénomène de l'albumine, si différente d'elle-même avant et après la coagulation. Ce dernier état pour l'albumine de l'œuf de poule atteint son maximum, d'après mes recherches personnelles, vers 67 degrés centigrades, et seulement vers 71 degrés, si l'albumine est dissoute dans un volume d'eau égal au sien (2). M. Nægeli est cependant d'avis que cette coagulation remarquable de l'albumine ne coïn-

(1) *Entstehung d. n. Art.*, 1865, ed. 2, p. 47.

(2) Voy. Pringsheim, *Jahrb. f. wiss. Bot.*, t. II, p. 327, et les *Bot. Untersuchungen* de M. Karsten, t. I, p. 358.

cide pas nécessairement avec l'état permanent du même corps. On se demande sans doute à quel signe on reconnaîtra cet état permanent d'une liqueur ou d'une dissolution donnée, et même si en général un état pareil existe ; y a-t-il aussi un état instable sans organismes, en tant du moins qu'il s'agit non pas d'oxydations, mais de fermentations et de phénomènes analogues. Les vitalistes soutiennent que la transformation de la matière suppose nécessairement la coopération de quelque être organisé.

Chacun sait que MM. Van den Broek et Pasteur ont pu conserver sans aucune altération de l'urine fraîche et du sang frais, sans avoir fait bouillir ces liquides et en les mettant simplement à l'abri de tout protorganisme ; or, personne ne dira que de tels liquides sont naturellement dans un état stable ou inaltérable. Il faut remarquer en passant que le sang, l'urine, la bile, le lait, etc., sont des liquides qui peuvent être le plus justement regardés comme aussi absolument exempts que possible de toutes Bactéries, car ils ont été protégés et, pour ainsi dire, filtrés par des tissus vivants. Les sucs végétaux, au contraire, sont toujours rendus plus ou moins impurs par l'expression qui les procure. Si l'urine est fraîchement évacuée, une ébullition de dix minutes sous un tampon de ouate ou dans un matras à col tubuleux et recourbé suffit pour conserver ce liquide, une année durant, limpide, acide et sans altération aucune.

D'après tout ce qui précède, il faudrait à l'observateur employer des liquides dans lesquels l'ébullition ne déterminerait aucune altération reconnaissable. A cet égard, nous avons les expériences de M. Pasteur (1), où l'eau additionnée de cendres de levûre, de sucre et de tartrate acide d'ammoniaque, sans autre mélange de matière organique, donne naissance à une riche végétation fongine, quand elle est exposée à l'air. Cette expérience n'est pas absolument probante, dit M. Nægeli, car les nouveaux Champignons peuvent avoir puisé une partie des éléments les plus essentiels de leur nutrition dans les particules de protéine et les matières organiques de toute sorte que l'air a dû laisser tomber dans la liqueur. Si l'on interdit tout accès à l'air,

(1) Voyez les *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXIV, p. 106.

il ne se développe aussi aucun Champignon, parce que, poursuit notre auteur, les éléments nutritifs réunis artificiellement dans le liquide étaient en eux-mêmes insuffisants, mais non point parce que des Champignons ne peuvent apparaître là où il n'en préexistait pas.

J'ai aussi mis en expérience d'autres liqueurs telles que des décoctions de foin ou de pain, de l'eau de colle, avec ou sans addition de sucre et plus rarement de vinaigre ; mais bien que tous ces liquides soient, comme le prouvent des essais directs, éminemment propres à l'entretien de la vie des *Penicillium*, aucun Champignon ne s'y développe si leur ébullition a été suffisamment prolongée dans le récipient à tube recourbé que j'ai décrit autrefois (*Bot. Zeit.*, ann. 1860, p. 51), ou, d'après la méthode de Schrœder, dans un flacon fermé par un tampon d'ouate, l'accès dans les deux cas étant laissé à un air pur de tout corps organisé ; ces liquides n'éprouvent cependant par la chaleur aucune modification chimique connue.

M. Nægeli insiste : On détermine, dit-il, la température qui fait périr sans retour telle ou telle Mucédinée dans des liqueurs favorables à son développement; puis on chauffe ces liqueurs récemment préparées et pures de tout Champignon, jusqu'à cette même température destructive et on les met à l'abri des Champignons qui pourraient les envahir. Si dans ce cas la moisissure considérée ne reparaît plus à l'état vivant, si, au contraire, elle se produit dans une liqueur qui aura été moins chauffée, il en faudra conclure que dans cette dernière circonstance elle procède de parents qui ont survécu à l'action de la chaleur, et qu'elle n'est point le fruit d'une génération spontanée.

La question était sans doute ainsi bien posée, l'expérience à faire correctement indiquée; mais, comme il arrive trop souvent, cette expérience devait exiger beaucoup de temps, elle ne manquerait pas de difficultés et ses conséquences seraient peut-être à beaucoup d'égards incertaines. J'ai cru néanmoins devoir la tenter et son résultat est à mes yeux tout à fait positif.

Je choisis à cette intention de l'eau miellée bouillie, une solution aqueuse de colle et de sucre très-étendue, une décoction de

foin et autres liqueurs, et je les laissai découvertes de une à vingt-quatre heures, dans une chambre, pour qu'elles pussent recevoir les spores de Champignons que l'air y laisserait tomber. Je remplis ensuite de ces liqueurs, jusqu'à la moitié seulement, de petits tubes-éprouvettes, dont une moitié reçut des spores fraîches de *Penicillium glaucum* que je déposai avec un bâton de verre à la surface des liquides; je ne mis rien dans les autres tubes. Tous les récipients étant fermés avec un tampon d'ouate furent chauffés pendant longtemps au bain-marie à la température de 60 degrés et ensuite peu à peu jusqu'à celle de 100 degrés; mais à mesure que le bain atteignait les températures de 60, 62, 64 degrés, etc., j'enlevais successivement et mettais à part deux tubes, l'un ayant reçu des spores, l'autre n'en ayant pas reçu. L'examen du contenu de tous ces tubes a eu lieu après un temps de repos qui a varié de six mois à un an.

A part cette circonstance du temps à attendre qui n'exige que de la patience, l'expérience est exposée à une plus grande difficulté qui consiste en ce que, pour des causes inconnues, les spores que l'on a semées et celles-là même qui n'ont été portées qu'à une température modérée, ne germent pas à beaucoup près toujours et ne fructifient pas non plus constamment. D'après cela il est évident que là où rien n'a été semé et où nul Champignon ne se montre, cette absence de végétation fongine ne saurait être exclusivement attribuée, sans plus ample recherche, à la température subie par la liqueur ; ou autrement, ce défaut de Champignons n'est nullement une preuve que leurs germes ont été détruits par la chaleur employée. Inversement, si ces Champignons apparaissent comme spontanément, cela ne prouve pas qu'ils proviennent nécessairement des spores tombées de l'atmosphère pendant la préparation de l'expérience et à l'insu de l'observateur, car, de toutes ces spores adventives, il aurait pu n'en réussir aucune.

Une difficulté dans l'exécution de l'expérience gît en cela que les spores semées à dessein retiennent de l'air autour d'elles et nagent à la surface du liquide. Durant le maniement des récipients, il arrive souvent que l'oscillation de la liqueur porte

quelques-unes de ces spores sur les parois où elles restent adhérentes à 1 ou 2 centimètres au-dessus du liquide en repos; de sorte que pendant que l'on chauffe les éprouvettes, ces spores, qui ne sont pas mouillées, ne prennent pas la température du liquide mais seulement celle de la vapeur qu'il émet; or cette dernière température est toujours moindre que l'autre tant que l'on se tient fort au-dessous de la chaleur de l'eau bouillante, ce qui est le cas pour notre expérience. Il est vrai qu'en prenant les tubes je les agitais un peu pour mettre le liquide chauffé en contact avec les spores émergées, mais ce contact n'était jamais que momentané et n'a dû que difficilement produire l'effet que j'en attendais.

En cet état de choses le nombre seul des essais doit avoir force probante, en supposant, bien entendu, que ces essais sont d'ailleurs exempts d'erreurs; et si de fréquentes répétitions des mêmes expériences donnent constamment, dans les cas réussis, les mêmes résultats, si elles n'en donnent jamais de contradictoires, nous tiendrons le problème pour résolu. J'ai constaté, avec surprise, que la différence de nature et de composition des liqueurs citées plus haut et que j'ai employées n'exerce aucune influence reconnaissable sur le degré efficace de température. Dans toutes ces liqueurs, les spores de *Penicillium* sont tuées entre 76 et 83 degrés (1); cette dernière température peut être regardée comme identique avec celle qui détruit la vie dans les cellules de la levûre (2), puisque j'ai reconnu antérieurement que la température de 84 degrés a cet effet; or c'est le cas de se souvenir qu'une bonne part de la levûre n'est qu'une manière d'être particulière (*besondere Vegetationsform*) du même *Penicillium*. Là où l'on a chauffé longtemps la liqueur au-dessus de 83 degrés, jamais le *Penicillium* n'apparaît spontanément. Une seule fois, après avoir chauffé de l'eau miellée environ une heure et demie

(1) Pour la décoction de foin qui est neutre, la température destructive *minima* est entre 70° et 76°,30; elle est plus élevée pour l'eau miellée (neutre ou faiblement acide) et pour l'eau de colle additionnée de sucre de canne dont la réaction est neutre.

(2) Voyez mes recherches *zur Naturgeschichte der Hefe*, dans les *Bot. Untersuchungen* de M. Karsten, t. II, p. 358.

entre 85 et 87 degrés, j'y ai vu naître des Mucédinées autres que le *Penicillium*, le *Sporotrichum olivaceum* Rab. accompagné d'un *Stemphylium*. D'ailleurs le chiffre de 83 degrés que je mentionnais tout à l'heure ne doit pas être pris absolument, mais sous quelque réserve, il suppose au moins que cette température a été longtemps soutenue. Cette circonstance, dans les expériences comparatives dont je parle, n'a point de valeur contradictoire. Effectivement, la durée de la calorification et le degré de température se compensent jusqu'à un certain point, comme je l'ai montré ailleurs pour l'*Ustilago destruens* dont les spores humides sont tuées par une chaleur de 74° à 78°,5 centigrades continuée pendant une heure, et par une chaleur de 70 à 73 degrés seulement, si celle-ci est maintenue pendant deux heures (1). Il en est tout à fait de même pour la levûre qui étant humide perd sa vitalité par une température longtemps prolongée de 84 degrés environ, tandis que des cellules isolées de levûre peuvent survivre à la chaleur de l'eau bouillante si elles ne l'ont subie que cinq à dix minutes (2). Cette chaleur soutenue pendant une demi-heure les fait toutes périr absolument. Elles ne gagnent plus alors le fond de l'eau, comme c'est leur coutume, et si l'on en juge par l'abondance de l'écume qui surnage, elles ont perdu leurs éléments albumineux. On essaye très-simplement leur degré de vitalité de la manière que voici : On place un peu de levûre sur une lame de verre, on y ajoute de l'eau distillée ou de l'eau miellée et l'on recouvre le tout d'un verre mince dont on lute les bords avec un mélange de cire et de gomme laque; si la levûre est morte, elle ne donne naissance à aucune bulle gazeuse; si elle est vivante, au contraire, cette production de gaz a lieu avec une abondance croissante pendant plusieurs jours et peut aller jusqu'à faire éclater

(1) Voyez les *Jahrb. f. wiss. Bot.*, de M. Pringsheim, t. II, p. 327.

(2) M. Pasteur a vu de même résister deux ou trois minutes à la chaleur de l'eau bouillante un Champignon qu'il qualifie de *Mucor*, mais qui, d'après la figure qu'il en donne (pl. II, fig. 27 *c*, p. 79), paraît être le *Monas Crepusculum* (voy. les *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. LXIV, p. 47 et 63). Le même auteur cite (p. 92) un cas tout à fait analogue observé par Spallanzani, et qui paraît bien se rapporter à un vrai *Mucor*; ce cas même ne manque pas de valeur démonstrative.

le verre qui recouvre la préparation. Ce verre presse tellement les cellules de la levûre les unes contre les autres qu'elles deviennent hexagonales, et que leur association imite une sorte de parenchyme cellulaire. Quand on n'emploie que de l'eau pure, la fermentation est plus faible, cependant elle ne fait pas entièrement défaut, ce qui confirme l'expérience connue, que de jeunes cellules de levûre peuvent vivre un certain temps aux dépens de cellules plus âgées qu'elles obligent à fermenter, n'ayant pas d'autre aliment. L'examen microscopique fait voir alors réunies des cellules de levûre gemmipares devenues des chapelets rameux, à la manière des *Torula*, et des cellules mortes en partie détruites par une macération avancée (fig. 21 *a*). Si la levûre employée a été préalablement tout à fait privée de vie par l'ébullition, le phénomène de macération a lieu de la même manière, que l'air extérieur intervienne ou non; mais il n'y a ni germination ni développement gazeux, du moins si ce développement a lieu, ce n'est pas comme dans le cas d'une levûre vivante. Il se produit en effet toujours quelque gaz, même quand on n'a emprisonné, sous le verre mince, que de l'eau distillée sans rien autre chose; le gaz qui apparaît n'est alors que l'air d'abord dissous dans l'eau et qui devient libre, soit par suite de changements de température, soit surtout parce que l'eau est peu à peu absorbée par la matière cireuse du lut. Quelque attention suffit pour ne pas confondre ce développement apparent de gaz avec la production gazeuse plus réelle due à la levûre qui fermente; c'est ce que montrent des expériences comparatives. L'air n'apparaît dans le cas en question que beaucoup plus tard, souvent après plusieurs semaines, et seulement en petites bulles isolées; au moins il n'occupe point uniformément tout le champ du microscope, comme il arrive pour les cas de fermentation réelle. Il faut plusieurs jours aux bulles pour prendre la forme, le volume et la position qu'elles doivent ensuite garder sans modification aucune; tandis que les bulles de gaz d'une vraie fermentation s'accroissent rapidement, se confondent les unes avec les autres et ont bientôt envahi tout le champ visuel du microscope.

Quand on chauffe lentement la préparation au-dessus d'une flamme, en l'observant en même temps à la loupe, on se convainc que l'air atmosphérique qui apparaît bientôt est réellement emprisonné et sans communication avec l'extérieur. Si c'est d'eau bouillie encore chaude qu'on a fait usage, aucun gaz ne se montre. Quand l'expérience est continuée plus longtemps, quelques mois par exemple, l'air extérieur, par diffusion, s'introduit toujours dans les préparations au travers du lut qui les protége; car la cire de ce lut se mouille peu à peu et l'eau de la préparation passe par dessous.

Il semblera peut-être, à lire ces détails, qu'il est difficile de reconnaître l'origine diverse des bulles gazeuses dont nous parlons; avec la préparation sous les yeux toute distinction est facile et sûre.

Je ne saurais dire si la levûre privée de vie et d'autres substances organiques en macération développent toujours des gaz en se corrompant lentement dans une préparation microscopique lutée; un mélange d'air avec ces matières pourrait n'être qu'un accident. Ce qui a laissé des doutes dans mon esprit à ce sujet, c'est d'abord que les bulles gazeuses ne sont point au contact, ni même dans le voisinage des cellules de levûre mortes et en voie de macération, et en second lieu que l'eau distillée qui contient de l'air paraît en dégager autant que celle où macèrent des cellules mortes de levûre.

J'ai tenté avec le *Mucor stolonifer* des expériences de même sorte que celles faites avec le *Penicillium*, mais elles ont toutes complétement échoué, soit parce que je n'ai pas su choisir des milieux ou des *substrata* favorables au développement des spores que j'avais semées, soit parce que ce Champignon n'est pas à beaucoup près assez fréquent pour qu'on puisse espérer, avec quelque assurance, qu'il se sème de lui-même.

Le *Penicillium glaucum* est, au contraire, pour ainsi dire, ubiquiste. Je l'ai vu croître partout, si ce n'est sur les tissus vivants de l'homme, des animaux et des plantes. Dans l'huile de pavot suffisamment bouillie, ses spores vont au fond et périssent. A part ces exceptions, il réussit sur toutes les substances imagi-

nables, même sur des solutions étendues d'acide arsénieux ; je l'ai rencontré sur des os, sur l'encre, des liqueurs acides, neutres ou alcalines, la décoction de foin, l'eau miellée, les fèces de l'homme et du mouton, sur le lait, le vin, l'urine bouillie, sur le cadavre de mouches mortes à la surface d'une eau miellée et d'autres liqueurs, sur des rognons de veau gâtés, sur de la vieille colle humide dont les couches profondes étaient pénétrées par les filaments de son *mycelium*, etc.

Quand les hétérogénistes disent, comme on l'a entendu de quelques-uns, qu'ils ne sauraient renoncer à la doctrine de la génération spontanée lors même qu'à l'encontre de cette thèse toute preuve expérimentale imaginable viendrait à être fournie, parce que l'hypothèse des origines veut être acceptée catégoriquement, qu'elle n'est qu'une conviction personnelle en dehors de la science et de toute discussion ; je réponds que cette conséquence n'est pas obligée, qu'elle n'est aucunement nécessaire dans l'hypothèse Darwinienne ou toute autre théorie sur les origines des choses. Il serait plus court, à mon sens, d'admettre que la vie n'a point eu de commencement ici-bas, qu'elle y a toujours existé, aussi bien que la matière tellurique et les forces qui y sont attachées. Du moins, cette supposition ne contredirait aucun fait précis, ce qui n'est pas le cas pour la génération spontanée et ses opérations merveilleuses. Qu'on puisse ou non se figurer aisément, qu'on puisse ou non concevoir cet infini, ce manque de commencement et de fin, c'est une autre affaire. L'immensité du ciel étoilé, l'infini de la durée et des nombres ne se conçoivent pas davantage, et nous ne saurions pourtant ne les point admettre puisque ce sont des faits. Est-ce que nous imaginerions plus facilement un état du monde qui ne comporterait ni matière ni force active (1) ?

(1) Une remarque sera sans doute excusable à la suite de cet alinéa qui semblerait trahir une philosophie incertaine. La question des *générations spontanées* est assurément une de celles qui intéressent le plus la doctrine. Les meilleurs esprits ont toujours douté qu'on en puisse jamais obtenir expérimentalement une solution péremptoire et à l'abri de toute critique. Impossible de méconnaître une loi aussi générale et constante que celle qui préside à la continuité de la vie sur le globe, loi d'après laquelle la vie est un don reçu et transmis. Croire que cette loi s'étend aux êtres les

Il y aurait quelque chose de plus favorable à l'hétérogénie dans l'origine prétendue des Bactéries que l'on fait naître du *plasma* tant des spores que du *mycelium* de divers Champignons. On suppose en cela que la matière d'un être organisé qui vient de mourir possède encore un reste de vitalité au moyen duquel elle pourra, les circonstances aidant, fournir sous une forme nouvelle, une nouvelle existence. On étaye cette opinion sur l'observation qu'on a faite de la division du *plasma* et de la formation des zoospores dans les conidies des *Peronospora* et des *Cystopus*, les spores des Myxomycètes et le *mycelium* de l'*Achlya* (1). On interprète aussi comme favorable au même sentiment, que les Bactéries se rencontrent si habituellement mêlées à des granules divers, circonstance facile à comprendre pourtant d'après tout ce qui précède. Ces granules, en effet, se voient toujours dans les spores depuis longtemps immergées, ils y paraissent plus ou moins vite selon la température ambiante, au bout de deux ou plusieurs jours ou seulement après un plus long espace de temps; ils sont plus lents à se montrer dans une matière préalablement bouillie que dans une autre qui serait fraîche ou inanimée depuis peu de temps pour une cause quelconque; toutefois faut-il que la matière soit privée de vie ou sur le point de l'être par les

plus infimes de la création comme aux plus élevés, c'est évidemment adhérer à l'opinion la plus probable qui se puisse imaginer. Partant, supposer le contraire, et admettre une exception quelconque, fût-elle aussi limitée qu'on la voudrait faire, c'est une témérité que rien jusqu'ici n'autorise suffisamment. Cette imprudence peut cependant être commise sans compromettre aucune vérité; il suffit de subordonner toute manifestation de vie spontanée à la volonté de Celui qui seul possède la vie en lui-même et qui en est le maître souverain. A supposer même que la création de ce monde soit achevée, qui ne voit que sa conservation et le maintien de la vie à sa surface sont vraiment une création continuée ou toujours actuelle? Sous le bénéfice de ces réserves, la génération spontanée des infiniment petits n'est plus qu'une loi de l'économie générale de l'univers, et demeure une opinion à peu près indifférente. Il y a loin de là aux propositions qu'impliquent les suppositions plus ou moins agréées de notre auteur et dont il est superflu de faire ressortir la portée. (*Note du traducteur.*)

(1) On a aussi vu quelquefois les spores des *Mucor* éclater et répandre leur contenu plastique, mais aucun phénomène de subdivision ultérieure et de déplacement spontané n'a été observé. C'est aussi ce qui m'est arrivé avec des endogonidies que je cultivais sous l'eau et que je reconnus appartenir au *Penicillium glaucum*, car plusieurs d'entre elles produisirent directement cette Mucédinée.

circonstances qui l'entourent. On observe un semblable phénomène dans les sporanges des *Mucor* qui n'ont pas atteint leur maturité et que l'on écrase sous l'eau, dans la chair gâtée ou toute autre substance organique corrompue, dans les cellules de levûre privées de vie (fig. 21 *a*, I et II) et parfois aussi dans les spores de *Penicillium* germées mais mourantes et plongées sous l'eau (fig. 16); dans ces derniers exemples on voit assez souvent un corpuscule, plus rarement deux, qui s'isolent et sont vivement agités pendant plusieurs jours d'un mouvement de trépidation moléculaire (1). Tout *mycelium* quelconque privé de vie et plongé dans l'eau engendre de pareils corpuscules à l'intérieur de ses filaments et ces corpuscules peuvent s'échapper là où les parois des filaments sont le plus altérées et présentent déjà des lacunes. Ces granules n'ont jamais une forme commune et bien définie et ils sont d'inégal volume, double circonstance qui les distingue parfaitement du *Monas Crepusculum;* habituellement aussi on ne saurait les confondre avec de vraies Bactéries. Ils apparaissent aussi bien là où l'air n'a aucun accès (par exemple entre deux lames de verre lutées à la cire ou à la gomme-laque) qu'à l'air libre, tandis que ni le *Monas*, ni les Bactéries ne peuvent vivre et se multiplier sans air. La macération sous l'eau n'exige ni air, ni oxygène, c'est le commencement d'une dissolution.

Les granules dont nous parlons, les soi-disant *Micrococcus*, ne sont, en effet, rien autre chose que des produits de désagrégation, des détritus organiques qui ne s'élèvent jamais à la dignité d'organismes nouveaux de quelque genre que ce soit; ils sont, si l'on peut ainsi parler, comme la fin de la mort, et non le commencement d'une vie nouvelle; de plus, ils ne possèdent jamais d'une manière certaine la faculté de se mouvoir spontanément.

(1) Pour se convaincre que ces corpuscules ne se déplacent pas réellement ou spontanément, il convient d'observer journellement pendant une semaine ou davantage une même cellule de levûre; et comme la préparation, après chaque examen, doit être replacée sous une cloche qui en empêche la dessiccation, comme aussi l'on ne saurait modifier le liquide de cette préparation, je m'aide pour retrouver plus facilement les petits corps à observer de lignes cruciales tracées sur le porte-objet de la manière que j'ai indiquée autrefois (voyez Pringsheim, *Jahrb. f. wiss. Bot.*, t. II, p. 300).

Que des Bactéries se montrent ou non au milieu de ces corpuscules exposés à l'accès de l'air, c'est un pur effet de causes accidentelles, de même que la présence d'animalcules infusoires parmi eux ne saurait non plus tirer à conséquence, comme je m'en suis assuré par l'observation réitérée de portioncules isolées entre deux verres. D'après leurs caractères chimiques, ce sont tantôt des gouttelettes de graisse, tantôt un *plasma* muqueux ou des débris plus solides de substances organiques; ce dernier caractère est bien celui que l'on constate sur les parois brisées des cellules de levûre (fig. 21 *a* et 21 *d*). Il serait sans objet de développer ce thème davantage; il faut laisser à l'avenir à décider en un sens ou dans l'autre la question en litige; car il y a ici deux affirmations en présence. Qu'il me soit seulement permis de clore le sujet par une explication très-précise, en disant que relativement au point contesté mes observations personnelles ne m'ont pas laissé le moindre doute (1).

De tout ce qui précède je ne puis ne pas conclure que toutes les Bactéries, de quelque forme qu'elles soient, ne sont jamais

(1) Plus d'un lecteur remarquera qu'il s'agit encore ici d'une question toute de doctrine et dont on ne saurait attendre la solution de l'expérience pure. Sous peine de tout confondre et de renoncer à rien comprendre à ce monde et à nous-mêmes, il faut nécessairement distinguer deux choses dans un corps organisé vivant; une force ou un esprit de vie qui en a réuni et ordonné les éléments matériels et qui constitue évidemment l'essence de l'individu; puis ces éléments eux-mêmes qui ne peuvent être conçus qu'inertes et passifs. Si l'union de ces deux principes fait la vie de l'être organisé, leur séparation, c'est sa mort; après quoi, il ne représente plus, pour employer le langage de la chimie moderne, qu'une association de *principes immédiats* abandonnés désormais à l'empire unique des forces physiques et chimiques qui commandent sans obstacle à la matière inanimée. Ou ces principes immédiats sont tels quels utilisés par d'autres êtres vivants, ou ils sont détruits et leurs éléments constitutifs sont rendus au monde inorganique. Mais on ne saurait supposer que des particules du cadavre, si exiguës et si subtiles qu'on les imagine, puissent d'elles-mêmes et par le fait d'une vertu intrinsèque, recommencer de nouvelles vies, puisque ce serait évidemment tomber dans la confusion ci-dessus indiquée et qu'il faut éviter à tout prix. D'un autre côté, qui autoriserait à croire que l'esprit de vie, qui jadis animait ce cadavre, dût obéir à une sorte de métempsycose complexe et rétrograde, pour se représenter à nos yeux multiplié à l'infini dans de nouveaux êtres tout différents du premier? Il n'y a donc pas dans la seconde hypothèse, dont notre auteur discute ici la valeur, moins d'invraisemblance que dans l'hypothèse des générations spontanées.

(*Note du traducteur.*)

engendrées autrement que par des êtres de même nature qu'elles-mêmes.

XI. J'arrive maintenant à la partie la plus difficile de mon sujet, c'est-à-dire à la question de savoir quel rôle jouent les Bactéries dans le phénomène de la décomposition des corps organisés. Tous les faits connus montrent qu'un être organisé quel qu'il soit finit par mourir et se corrompre, aussi peut-on dès l'abord se demander si les Bactéries participent à la destruction de leurs semblables. A cette seconde question je n'ai point de réponse; il est certain pourtant que les cadavres des Bactéries se retrouvent encore dans les liquides où elles ont vécu, après deux ou trois ans, et lors même que l'air a librement afflué autour de ces liquides; le seul changement que l'on remarque en elles consiste dans une distribution ou concentration différente de leur *plasma*, et dans sa disparition partielle; quant aux parois, elles n'ont éprouvé aucune altération appréciable. La même permanence a lieu d'ailleurs en beaucoup de cas pour les spores des Champignons et les filaments de leur *mycelium*, après que la vie s'en est retirée; car ces corps plongés dans l'eau ne s'y détruisent et ne disparaissent souvent que très-lentement. J'ai observé encore que le lait, même quand on l'a conservé exempt de Bactéries et de toute coagulation (voy. *supra*), est loin d'être demeuré intact, du moins s'il en faut juger au goût sensiblement modifié du beurre. Sans aucun doute, il se produit une sorte d'oxydation continue de la substance organique, analogue à celle du fer ou du plomb, dans tous les cas en présence de l'air atmosphérique, mais aussi bien dans l'humidité (comme l'a prouvé récemment M. Karsten en démontrant une formation non interrompue d'acide carbonique), que dans un état complet de dessiccation. D'après cela, il n'y a lieu de parler ici que de ces formes particulières de décomposition qui peuvent être considérées dans le sens le plus large comme des phénomènes de pourriture et de fermentation, et qui supposent bien moins l'intervention d'une matière étrangère, comme l'oxygène de l'air, qu'une association nouvelle des éléments déjà existants. La

levûre qui, sans l'auxiliaire de l'air, décompose le sucre, offre un vrai type des phénomènes dont nous parlons. Ceux-ci diffèrent de la décomposition que subissent les matières alimentaires qui entretiennent la vie des animaux, en ce que, indépendamment d'une décomposition analogue (à laquelle l'urée entre autres corps doit sa formation), il s'y trouve une oxydation. La plante se comporte de même durant la période de sa germination, tandis que dans la plante adulte il y a sous l'influence de la lumière solaire une *réduction* qui, par le fait, a la plus grande analogie avec les phénomènes ci-dessus indiqués.

A l'égard de la participation des Bactéries à ces mêmes phénomènes de décomposition, je ne suis parvenu en beaucoup de cas à aucun résultat positif, ce qui, à vrai dire, s'accorde mal avec ce qu'on lit dans maint livre. Le fait est que les Bactéries vivent aussi bien dans les liqueurs acidifiées par l'acide acétique ou l'acide lactique, que dans les liqueurs alcalines (ammoniacales), et qu'on peut, en général, transporter ces corpuscules d'une liqueur dans une autre sans nuire aucunement à leur développement ultérieur. De plus, nous avons montré plus haut qu'ils sont tout à fait désintéressés dans la fermentation alcoolique ou productrice d'acide carbonique, bien qu'habituellement, si elle se prolonge, elle les voie aussi apparaître. D'autre part, il y a ce fait certain que les phénomènes de décomposition dont il s'agit sont très-facilement empêchés par la destruction des Bactéries; rien par exemple n'est plus aisé que de conserver sans altération et même avec les apparences de la fraîcheur, soit du jus de viande, soit de la chair crue, si l'on renferme ces objets dans un flacon avec de la vapeur de chloroforme (1), laquelle est pour

(1) Si l'on suspend un petit flacon de chloroforme, ouvert, dans le col d'un matras à moitié rempli d'eau où plonge de la chair pourrie, l'appareil étant ensuite hermétiquement clos, on constate au bout d'un ou deux jours que toute vie bactérienne a pris fin, bien qu'ici les dispositions soient aussi peu favorables que possible pour le contact de la vapeur du chloroforme avec le liquide corrompu. Quand la chair est immergée fraîche et crue, les circonstances précédentes étant les mêmes, la réaction, au plus fort de l'été, est encore neutre au bout de six jours, et il ne se montre ni Bactéries, ni *Monas Crepusculum ;* on ne trouve que des détritus de macération qui offrent, comme toujours, la forme de petits granules. Au bout d'un mois, toute la surface de la chair est boursouflée et comme floconneuse, elle est un peu décolorée et présente

les Bactéries un poison très-énergique. Là où la chair et le sang se corrompent, les Bactéries ne manquent jamais.

Peut-être serait-on dans le vrai en estimant que les Bactéries préparent la fermentation et la transformation des substances organiques, mais qu'elles ne déterminent pas la nature chimique spéciale de ces phénomènes, laquelle dépendrait plutôt de la substance elle-même et des circonstances ambiantes. C'est ainsi qu'une solution de sucre de raisin, sous l'effet de la multiplication des Bactéries, acquiert une acidité croissante, aussi bien quand les Bactéries s'y sont développées naturellement que quand elles y ont été artificiellement transportées, soit d'une liqueur acide analogue, soit d'un jus de viande corrompu. L'acidité croît dans cette solution jusqu'à ce qu'elle y agisse ou comme poison, ou comme cause d'asphyxie, et qu'elle apporte un temps d'arrêt au développement de la vie bactérienne; du moins, c'est ainsi que j'interprète les cas assez fréquents dans lesquels toute multiplication des Bactéries est suspendue, pendant que l'essai par la liqueur de Fehling accuse encore, soit une quantité notable de sucre non décomposé, soit la présence d'une portion de colle ou autre substance non employée. Dans le mode d'action des acides, de l'acide lactique comme de l'acide acétique, je décou-

les signes de la macération, mais on ne voit aucune Bactérie. L'intérieur de cette chair est encore aussi solide et tenace que le premier jour; la réaction est cependant devenue faiblement acide; le liquide sent le chloroforme; pas de trace de pourriture. Avec quelques gouttes de chloroforme j'ai conservé parfaitement intact pendant plus de deux ans un rognon de mouton dans un flacon hermétiquement bouché (voyez les *Bot. Untersuch.* de Karsten, t. I, 1867, p. 364). Huit gouttes de chloroforme suffisent pour conserver sans altération et même avec toutes les propriétés de la viande fraîche, deux onces de chair crue coupée en lanières et renfermée dans un flacon de la capacité de 4 $\frac{1}{2}$ pouces cubes. Mais cette chair n'est pas mangeable; même après être restée dix heures dans l'eau pure, elle retient encore un goût prononcé de chloroforme que la cuisson ne détruit pas. L'éther sulfurique ou le sulfure de carbone procurent le même résultat que le chloroforme. La créosote agit beaucoup moins énergiquement; employée en vapeur de la manière ci-dessus décrite, elle est même tout à fait inerte; en ce cas, la chair fraîche se corrompt comme à l'air libre, et l'on trouve au bout de quelques jours d'innombrables Bactéries très-agiles en compagnie du *Monas Crepusculum*. Comme les Bactéries ne sauraient vivre sans oxygène, il est présumable que la chair se conserverait bien dans une atmosphère d'acide carbonique et même qu'elle resterait mangeable.

vre aussi l'explication de ce fait que la viande plongée dans le vinaigre s'y conserve sans altération. De même, je suis convaincu que le sel n'a pas de vertu conservatrice parce qu'il soutirerait à la viande et aux autres matières l'eau qu'elles contiennent, mais parce qu'il est un poison pour les Bactéries. Lorsque, sans employer le sel, on prive par la chaleur une substance organique donnée de la moitié ou des trois quarts de l'eau qu'elle contient, c'est-à-dire d'une proportion d'eau plus forte que le sel ne lui en pourrait enlever, on ne prévient aucunement par ce moyen la corruption de la substance expérimentée. Mais que la propension à la corruption dans une matière organique soit en quelque sorte, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle à la quantité d'eau que cette matière contient, c'est ce que pourrait expliquer la plus grande facilité offerte par l'eau aux Bactéries pour se propager et se porter rapidement d'un point sur un autre. L'action conservatrice du sucre raffiné et de l'alcool me semble analogue et pouvoir être comprise de la même manière.

Il est encore un fait, c'est que nos Monades et Bactéries, cultivées dans un tube clos sur un fragment de pomme de terre bouillie, donnent toujours naissance à un mucilage dont la réaction est alcaline, quelle qu'ait été la condition chimique ou la réaction du *substratum* auquel on ait emprunté ces Bactéries, qu'on les ait prises, par exemple, dans le mucus acide d'un vinaigre quelconque, dans le sang ammoniacal d'un homme mort de diphthérie, dans du jus de viande corrompu, de la levûre de vin, du jus de choucroûte, de l'eau de colle, etc.; et il importe de noter que dans tous ces milieux, si divers qu'ils soient, ce ne sont point des espèces différentes de Bactéries qui se rencontrent, mais bien des formes identiques de ces corpuscules, autant du moins que nos yeux le peuvent apprécier et qu'il est permis de tirer une conclusion certaine d'une dépendance génétique nullement équivoque.

Pourtant cette manière de comprendre le sujet ne suffit point à tous les cas. Ainsi, par exemple, dans une série d'expériences comparatives, conduites aussi exactement de la même manière que la chose était possible, j'ai trouvé qu'une liqueur bouillie,

contenant de la colle et du sucre de canne, étant chauffée à 82 degrés, puis conservée plusieurs mois dans des flacons fermés d'un tampon d'ouate, après avoir produit des légions de Monades et de Bactéries, est tantôt légèrement acide et tantôt faiblement alcaline, sans que les corpuscules bactériens aient plus abondé, ce semble, dans un cas que dans l'autre. Il convient de remarquer que ces expériences n'avaient donné lieu à aucun développement de Champignon ou de *mycelium*. Là, aussi, ne s'est pas confirmé ce que j'avais présumé, à savoir que suivant la prédominance des Monades ou celle des Bactéries, la réaction des liqueurs était alcaline ou acide. Effectivement, l'une et l'autre réaction s'observent dans les deux cas, même quand l'une des formes bactériennes domine au point d'exclure absolument l'autre, ce qui est une nouvelle preuve que ces formes sont étroitement alliées, si elles ne sont pas en un certain sens identiques. J'omets ici pour abréger, ainsi que je l'ai déjà fait jusqu'à présent, de donner la composition quantitative des liqueurs que j'ai expérimentées, cette précision ne servirait de rien, en effet, pour l'interprétation des phénomènes. Je dirai seulement que ces liqueurs ont toujours été très-étendues.

Il reste assurément beaucoup à faire dans ce champ de recherches; qu'il me suffise de résumer ici les plus sûres conséquences de mes observations :

La fermentation alcoolique développe de l'acide carbonique. Les Bactéries et le *Monas Crepusculum*, ne donnent lieu, par eux-mêmes, à aucune formation de gaz dans une dissolution sucrée ; la levûre, au contraire, provoque ce développement gazeux, lors même qu'elle est absolument pure de toute Bactérie, comme on peut le constater, par expérience, sur le porte-objet même du microscope ; il en est ainsi, circonstance encore plus probante, lors même que tout accès de l'air est interdit, ce qui détermine la mort des Bactéries, mais nullement celle de la levûre. Cette seconde expérience se fait aussi très-sûrement sur le porte-objet du microscope, la lamelle qui recouvre la préparation étant soigneusement lutée tout autour avec de la cire, de la laque ou de la gomme.

La contre-épreuve est simple et conduit au même résultat. Si l'on fait bouillir de l'eau miellée pendant une demi-heure, dans un vase fermé par un tampon d'ouate, on a par là tué les Champignons qui s'y trouvaient, mais non pas les Bactéries qui bientôt apparaissent en masse, troublent la liqueur, y déterminent des nuages de mucilage, et cela sans provoquer aucun dégagement gazeux. La levûre dans ces conditions ne se développe nullement.

Je profiterai de l'occasion qui m'est offerte ici d'exposer rapidement le résultat de mes dernières observations sur la levûre et la fermentation.

XII. On peut, d'un *mycelium*, obtenir de la levûre, et même de la levûre douée de la forme et de toutes les propriétés chimiques qui caractérisent la levûre commune ou normale (1). J'ai employé pour cette expérience le limon blanc qui s'accumule à la surface de la choucroûte mise en tonneau, recouverte d'un linge mouillé et chargée de planches et de pierres ; ce limon est formé d'*Oidium Lactis* et autres *mycelium* analogues ; il contient aussi des conidies isolées, dissociées, et qui ont tout l'aspect d'une levûre ; cependant ces conidies zymoïdes (*hefeartige Conidien*) ne semblaient pas être alors dans une période active de gemmation, peut-être à cause de l'exagération de l'acescence. On ne trouvait non plus dans le limon en question ni capitules fertiles, ni même de spores certainement reconnaissables de *Penicillium*, de *Mucor* ou d'autres moisissures. Plongé dans de l'eau miellée, ce limon y détermine au bout de cinq jours, à la température de 9 à 15 degrés Réaumur, une fermentation manifeste accompagnée d'un dégagement régulier de bulles de gaz ; après dix jours écoulés, le flacon tubuleux (2), long de $0^{m},135$

(1) J'ai aussi observé directement le phénomène inverse, car j'ai obtenu un *mycelium* d'une levûre véritable, ainsi qu'on peut le voir dans mon travail sur la levûre publié dans les *Bot. Untersuchungen* de M. Karsten, t. I, pl. 33, fig. 9, 10 et 14. — (Les rédacteurs de la *Botanische Zeitung* doutent évidemment de l'exactitude de ces affirmations, car ils regrettent, dit M. de Bary, que l'auteur continue ici à confondre des choses qui sont enfin devenues assez claires.) (*Note du traducteur*.)

(2) Voyez pour cet appareil à fermentation la *Bot. Zeitung*, année 1865, p. 348, fig. B.

et large de $0^m,015$, était entièrement rempli de gaz qu'une lessive de potasse absorba entièrement. Au fond de l'éprouvette s'était déposée de la levûre normale. Dans le flocon de *mycelium* que j'y avais introduit, on ne pouvait découvrir trace de filaments fertiles de *Penicillium* ou autres moisissures. Au contraire, du nouveau sédiment de levûre cultivé en un tube approprié (*Dunstrohr*), naquirent le *Mucor Mucedo* et le *Penicillium glaucum* avec leurs fructifications normales. Cette expérience ne contient pas d'ailleurs de preuve absolument rigoureuse, puisque le *mycelium* aquatique essayé n'était pas entièrement pur de conidies désagrégées et analogues à la levûre; mais jusqu'ici, dans aucune circonstance, il ne m'est arrivé d'en rencontrer un parfaitement pur. Qui voudrait tenir ces conidies pour de vraie levûre, pourrait alléguer que dans la choucroûte, pendant ou avant la formation de l'acide lactique, durant la première semaine qui suit la préparation, il se produit une fermentation alcoolique; c'est ce que témoignent non-seulement la *montée* initiale de la matière avec production d'écume, mais encore la présence ultérieure du vinaigre et de l'acide lactique, et l'odeur vineuse de la choucroûte, circonstances qu'il faut attribuer à une oxydation de l'alcool. Du liquide spumeux qui déborde et se trouve rejeté, il naît sur les parois du tonneau et à terre une grande abondance de *Mucor Mucedo* Fres. A la fin de l'hiver le jus exprimé de la choucroûte ne donne plus aucun signe positif de fermentation. Au mois d'avril pourtant l'épreuve par le réactif de Fehling montre qu'il y aurait encore assez de sucre dans le liquide pour qu'il continuât de fermenter; ce qui s'y oppose sans doute c'est son acidité exagérée, car généralement une trop forte addition d'acide coupe court aussitôt à toute fermentation. Des observations réitérées ont mis pour moi hors de doute que les conidies dont j'ai parlé plus haut s'étaient réellement détachées du *mycelium* qui les accompagnait, puisqu'on les y voyait souvent adhérer encore, qu'il n'y avait, au contraire, nul motif pour les regarder comme des spores gonflées ou des corps directement émanés de ces spores.

Le fait suivant peut servir à combler les lacunes de la démons-

tration précédente. Un grand nuage de *mycelium* s'était développé dans une faible solution de colle et de sucre additionnée d'un peu de vinaigre, il était entièrement immergé un peu au-dessous de la surface du liquide, et l'examen microscopique n'y avait montré que des traces éparses de graphiospores (*Pinselsporen*) de *Penicillium*, mais nulle conidie zymoïde; je l'employai comme ci-dessus pour déterminer une fermentation et j'obtins exactement le même résultat. Les bulles de gaz ne sortirent point du *mycelium;* la fermentation terminée, il se trouva au fond du vase, avec la levûre ordinaire, une levûre globuleuse (*Kugelhefe*) identique avec celle qu'on obtient du *Mucor*. (Voy. mes *Icon. analyt. Fung.*, pl. XX, fig. 14.) Il y avait donc eu, au sein de l'eau sucrée et en l'absence de l'air, production supplémentaire, par le *mycelium* employé, de conidies ou cellules zymoïdes.

Dans cet exemple de fermentation et autres semblables, les bulles gazeuses ne procédant point, sinon pour une part insignifiante, du *mycelium* immergé, bien que celui-ci soit en voie d'accroissement, cette production gazeuse semble plutôt liée au développement de la levûre, des conidies et des gemmes, en sorte que c'est pour nous une preuve remarquable qu'une même plante, suivant son mode de végétation, déterminé par des circonstances extérieures variables, tantôt décompose le sucre et tantôt ne le décompose pas. L'explication de ce fait devra être l'objet de recherches ultérieures. A titre d'analogie, il faut rappeler ici que le *Penicillium* ne donne ses tiges fertiles accoutumées et ses chapelets de spores que dans l'air, qu'il n'en produit pas dans un milieu privé d'oxygène, dans l'acide carbonique par exemple, qu'il est habituellement stérile ou presque stérile, s'il est plongé, même à une faible profondeur, dans un liquide quelconque; tandis qu'au contraire les conidies qui naissent du *mycelium*, de même que la levûre, s'engendrent parfaitement dans un espace privé d'air et dans l'acide carbonique. De même les spores du *Penicillium* ne germent pas si l'air leur fait absolument défaut (dans l'eau, sous une lame de verre lutée). Le Champignon se comporte donc chimiquement d'une manière

toute différente suivant le mode de sa végétation et le milieu ambiant. Toutes ces remarques s'appliquent encore plus exactement au *Mucor* (1).

D'ailleurs la production et la dissociation de cellules zymoïdes, la gemmation et la formation de conidies, sans développement simultané de *mycelium*, ne sont pas des phénomènes qui ne se puissent passer que sous l'eau ; on les peut observer aussi sur un corps humide, par exemple sur un fragment de pomme de terre. Dans cette condition, la levûre elle-même continue pendant plusieurs jours de se multiplier à la manière ordinaire, avant de donner naissance à des filaments de *mycelium* et à des tiges fructifères. Il m'est arrivé quelquefois d'observer ce phénomène sur le support dont je viens de parler ; là, des cellules sporomorphes se multipliaient par gemmation et désarticulation durant des semaines, sans arriver généralement à porter fruit avant de se dessécher.

En somme, il ressort certainement des expériences précédentes qu'on peut obtenir de la levûre d'un *mycelium* encore dépourvu de spores, que la levûre ne procède pas nécessairement ou exclusivement de spores proprement dites, et qu'elle n'est pas non plus une forme de spores anomale ou atypique, ce que semble aussi montrer son mode de gemmation qui imite les chapelets de spores du *Penicillium ;* en réalité, j'ai déjà obtenu abondamment de la levûre par la culture de ces graphiospores pures de tout mélange. Une forme tout à fait analogue, la levûre globuleuse (*Kugelhefe*), telle que je l'ai obtenue du *Mucor*, montre que la ressemblance des chapelets de la levûre avec ceux formés par les graphiospores du *Penicillium*, est sans autre signification morphologique ; car les spores du *Mucor* sont tout différemment arrangées entre elles, et pourtant elles peuvent donner une levûre en chapelets. La chose est même essentiellement autre. La levûre est une forme spéciale, parmi les conidies produites par désarticulation ; ainsi, chez les *Mucor*, elle naît

(1) Voyez à ce sujet le mémoire de M. Van Tieghem sur la fermentation gallique (dans les *Annales des sciences naturelles*, 5e série, t. VIII, 1867, p. 210) que j'ai analysé dans mes *Mykol. Berichte*, XIV, n. 59 (*Bot. Zeit.*, t. XXVII, 1869, p. 380).

du *mycelium* (1), et il en est de même chez le *Penicillium* dont les graphiospores sont, si l'on peut ainsi parler, des conidies zymoïdes aériennes ; la levûre est aussi, si l'on veut, une forme aquatique des conidies aériennes ordinaires et des graphiospores ; mais celles-ci n'ont aucune ressemblance physiologique avec les vraies spores telles que celles qui naissent dans les vésicules ou conceptacles des *Mucor*.

XIII. Un tube courbé en forme d'U étant rempli d'eau miellée en fermentation, un courant électrique constant, celui d'un élément de la pile de Bunsen ou de un à six éléments de la pile de Daniell, peut traverser la liqueur pendant deux ou trois jours sans exercer d'influence appréciable sur le phénomène de la fermentation, tandis que le même courant passant au travers d'une dissolution aqueuse de colle d'amidon, additionnée d'iodure de potassium, la colore en peu d'heures en bleu foncé. Après dix minutes d'action, il est encore sans influence visible sur la distribution du *plasma* et des vacuoles dans les cellules de la levûre, même quand les deux électrodes sont mis sur le porte-objet à proximité de cellules bien vivantes et pourvues d'une vacuole très-distincte ; son action prolongée ne modifie pas non plus le phénomène de la gemmation. Je n'ai pas obtenu plus d'effet du courant voltaïque d'induction, interrompu, en usant de l'appareil de Dubois et d'un élément de Bunsen.

XIV. Aux types fongins que j'ai d'abord obtenus de la culture de la levûre de bière, et qui sont le *Penicillium glaucum*, les *Mucor racemosus* et *Mucedo* L., Fres., etc., l'*Oidium Lactis*, l'*Acrostalagmus cinnabarinus* ou *Verticillium ruberrimum* (*mihi, olim*), les *Sporotrichum murinum ?* et *candidum*, et le *Polyactis vulgaris*, viennent s'ajouter aujourd'hui, d'après mes dernières expériences, plusieurs autres espèces. Sur la fiente bouillie du mouton, placée dans un tube approprié (*Dunstrohr*), j'ai obtenu une sorte de *Sporotrichum*, le *Cephalosporium Acremonium*

(1) Voy. mes *Icones analyticæ Fungorum*, pl. xx, fig. 10.

Cord. (Fresen., pl. XI, fig. 59) et le *Sporocybe byssoides* (Bonord., fig. 217; Rabenh. *Handb.*, p. 119, *sub Periconia*); sur la pomme de terre, j'ai vu se développer quelquefois les mucilages propres au *Monas Crepusculum* et aux Bactéries, avec ou sans *Penicillium*.

D'une moisissure qu'il qualifie de *Mycoderma Cerevisiæ* et qui ne pouvait se passer d'oxygène, M. Pasteur a obtenu de la levûre dans l'eau sucrée et sans l'intervention de l'air (*Jahresber. für Chemie*, pour 1862, p. 474). Ce prétendu *Mycoderma* n'étai probablement qu'une forme stérile de *Penicillium* et une moisissure alliée. J'ai obtenu moi-même de la levûre des mucédinées les plus diverses, telles que les *Penicillium*, le *Botrytis polymorpha*, les *Mucor*, etc. (voy. les *Bot. Untersuchungen* de M. Karsten, t. I, p. 345 et les *Comptes rendus de l'Acad. des sciences* de Paris, t. LX, p. 633). Tout récemment, j'ai vu sortir à la fois de la levûre de vin un *Penicillium* et probablement un *Mucor*.

XV. *De l'acide butyrique.*—Durant deux étés consécutifs et par les temps les plus favorables, j'ai à diverses reprises observé à l'état frais le *magma* où s'engendre l'acide butyrique (1); ce magma était préparé au laboratoire de chimie de l'université de Giessen et l'on en prenait à diverses profondeurs dans le vase qui le contenait. J'y ai toujours trouvé des Bactéries, ordinairement isolées, rarement associées en chapelets; généralement elles n'y étaient pas en grand nombre, souvent même il n'y en avait que fort peu. Deux fois seulement, huit et quatorze jours après la préparation du mélange fermentescible, je vis une grande multitude de Bactéries très-agiles, surtout à la surface de la liqueur; à part ces deux cas, je ne les ai rencontrées qu'immobiles, même au temps de la plus grande activité du développement gazeux.

(1) Pour préparer l'acide butyrique, ainsi que me l'apprend M. T. Engelbach, on dissout dans 384 grammes d'eau bouillante, 96 grammes de sucre de canne, et l'on y verse un demi-gramme de vinaigre, puis la liqueur est abandonnée à elle-même quelques jours; après quoi on y ajoute 4 grammes de vieux fromage délayé, avec 48 grammes de craie (lavée), dans 128 grammes de lait acide et écrémé; le mélange est alors tenu à une température de 30 à 35 degrés centigrades, et la fermentation butyrique ne commence au plus tôt qu'au bout de quatorze jours.

Pourtant, malgré cette immobilité, elles ne devaient pas être alors déjà privées de vie. Il y avait encore dans le mélange en question le *Monas Crepusculum* et des spores de Champignons germées, la plupart fort semblables à celles du *Penicillium*; je n'y vis aucune sorte de *mycelium* en végétation. Par la culture, sur des fragments de pomme de terre bouillie, des feuilles (cuites) d'ail, des rameaux succulents de *Robinia* également cuits, sur du pain desséché et autres substances renfermées dans des tubes spéciaux (*Dunströhre*), j'obtins des mucilages de Bactéries et de Monades, ou le *Penicillium glaucum*, plus rarement les deux choses à la fois; car ces organismes s'excluent dans une certaine mesure. Une seule fois se montra le *Chætostroma Carmichælii* Cord. (Sturm, cah. IX, pl. 58, fig. insuffisante; Hallier, *in Bot. Zeit.*, ann. 1866, pl. XIII, fig. 5, 6, etc.). Jamais les Bactéries ne furent assez abondantes pour m'obliger à voir en elles la cause efficiente de l'acide butyrique, quelque lien qu'il puisse y avoir d'ailleurs entre leur présence et la formation de celui-ci. Comme les spores de Champignon rencontrées dans le *magma* n'étaient pas germées, on ne saurait leur attribuer un rôle actif dans la fermentation butyrique. Il s'y trouvait au contraire, en assez grande quantité, des cellules zymoïdes occupées d'une manière très-active à se multiplier par bourgeonnement ou gemmation (*Sprossung*). Dans le beurre devenu rance et acide, je n'ai trouvé aucune Bactérie. Le résultat de mes observations paraît en opposition avec les conclusions de M. Pasteur qui attribue expressément la formation de l'acide butyrique à une forme particulière de Bactérie, à un *Vibrio*, en même temps qu'il annonce que ce vibrion est tué par l'oxygène de l'air (1). D'après mes expériences, au contraire, presque toutes les espèces de Bactéries que j'ai éprouvées sous ce rapport, et notamment celles de la chair pourrie aussi bien que les micro- et mésobacté-

(1) L'oxygène exercerait la même action asphyxiante sur les Vibrions qui déterminent la corruption du jus de viande et d'autres liquides ou matières analogues (*Comptes rendus*, t. LVI, p. 1190). A la surface de ce jus gâté se trouvaient, dit M. Pasteur, des Bactéries et parfois des moisissures, et celles-ci transportaient l'oxygène de l'air sur les produits de la putréfaction, fournis par les Vibrions, lesquels demeuraient dans les couches profondes du liquide, là où il n'y avait plus d'oxygène. L'au-

ries ou vibrions très-agiles du *magma* butyrique dont j'ai parlé plus haut, toutes ces bactéries, dis-je, meurent aussitôt que par un lut imperméable on empêche l'accès de l'air autour d'elles; et il n'y a réellement aucun motif pour regarder les Bactéries ou vibrions du *magma* butyrique comme essentiellement différents de tous les autres. Par le fait, l'acide butyrique se préparant communément dans un liquide qu'un dégagement continu d'acide carbonique et d'hydrogène fait bouillonner pendant un certain temps, il ne se peut que l'oxygène n'afflue pas sans interruption autour des corpuscules bactériens que contient ce liquide. M. Böhm (1), d'après un essai fait avec des feuilles corrompues sous l'eau, attribue aussi la formation de l'acide butyrique au ferment indiqué par M. Pasteur ; quant à la végétation fongine qui sans aucun doute a dû se produire en cette circonstance, il n'en est pas fait mention. On peut remarquer qu'au point de vue chimique, rien ne s'opposerait au sentiment de M. Pasteur, si la coopération nécessaire des Bactéries à la formation de l'acide lactique était une fois tenue pour démontrée : car la fermentation butyrique peut être regardée comme une fermentation lactique continuée (2).

M. Pasteur fait dépendre la fermentation mucilagineuse de certains globules réunis en chapelets qui semblent par tout leur aspect identiques avec les chapelets de *Monas Crepusculum* (fig. 20) que j'ai décrits plus haut (voyez *Jahresber. f. Chemie* pour 1861, p. 728, et le dessin publié dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* de Paris, t. LVIII, p. 148, fig. 10). Je

teur suppose possible une dépendance génétique entre les Bactéries et les Vibrions (*loc. cit.*, p. 1192). Il a dessiné son ferment butyrique dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* de Paris, t. LVIII, 1864, p. 150, fig. 13, 14 et 15. A mon sens, ces figures représentent des articles isolés et de courts chapelets de micro- et de mésobactéries ; la figure 13 contient en outre des corpuscules isolés de *Monas Crepusculum*.

(1) Voyez les *Sitzungsber. der wiener Akademie*, pour le mois de juillet 1866, t. LIV, II, p. 195.

(2) L'acide lactique se forme aux dépens du sucre de lait, sans oxydation, par pure transposition; la formation de l'acide butyrique avec l'acide lactique peut être regardée comme un phénomène de réduction; la formule de l'acide lactique est $C_6H_6O_6$, celle de l'acide butyrique $C_8H_8O_4$.

ne possède sur cette fermentation spéciale aucune observation personnelle.

XVI. *Du vinaigre.* — J'ai examiné à diverses reprises et séparément les appareils d'une fabrique de vinaigre qui marchait mal, c'est-à-dire dont le vinaigre était faible; je n'ai jamais eu l'occasion de visiter un établissement qui produisît de bon vinaigre. Le mucilage blanchâtre qui s'attache aux copeaux de bois employés contient des Bactéries (toujours immobiles), des *Leptothrix*, des *Monas Crepusculum*, des spores de Champignons, de la levûre en partie germée, des filaments vivants de *mycelium* (la distribution du *plasma* montrait en effet qu'ils végétaient), des *Anguillula aceti* vivants et des détritus sous forme de granulations. Ce mucilage cultivé dans un tube de verre, sur un fragment de pomme de terre, me donna des mucus bactério- et monadophores, puis le *Penicillium*. Après vingt-quatre heures de repos, du vinaigre très-fort et de bonne qualité laisse déposer un sédiment peu abondant qui n'est visible qu'au microscope, et qui tient en suspension les matières ci-dessus énumérées, bien qu'en moindre quantité; on y trouve aussi des Anguillules vivantes et éparses, des cellules zymoïdes, mais cependant nulle trace de *mycelium*.

Ayant égard à ces faits, j'incline, et en cela je suis vraisemblablement d'accord avec M. Pasteur (1), j'incline, dis-je, à attribuer la formation du vinaigre, par oxydation de l'alcool, à un *mycelium*, et tout d'abord au *mycelium* du *Penicillium*, mis au contact de l'oxygène de l'air, parce que ce *mycelium* dominait par son abondance au milieu des autres organismes concomitants, et qu'il était manifestement en pleine activité vitale, tandis que

(1) Voy. le *Bulletin de la Société chimique*, pour 1861, p. 94, reproduit par extrait dans le *Jahresber. f. Chem.*, pour 1861, p. 727; les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LIV, février 1862, p. 265-270, t. LV, p. 28, et le *Jahresber. f. Chem.* pour 1862, p. 475. D'après le dessin qu'a donné M. Pasteur de son *Mycoderma aceti* dans les *Comptes rendus*, pour 1864, t. LVIII, p. 142, fig. 1, cette production a toute l'apparence de chapelets mycéliques de fines conidies, comparables à ceux des *Hormiscium;* j'en ai vu de semblables, mêlés çà et là au *mycelium* ordinaire, dans le mucilage de vinaigre dont j'ai parlé tout à l'heure.

pour ce qui regarde les Bactéries en particulier, aucun mouvement spontané ne témoignait de leur vitalité, bien que les résultats des expériences de culture ci-dessus rapportés attestent la présence certaine de ces corpuscules à l'état vivant. La participation de la végétation fongine au phénomène dont il s'agit est encore indiquée par l'observation que m'ont constamment fournie les fermentations alcooliques, à savoir que l'acide acétique s'y développe toujours dans la mesure que le *Penicillium* fructifié se multiplie à la surface de la liqueur qui fermente, phénomène évidemment corrélatif à l'accroissement du *mycelium* au-dessous de cette surface. Mon sentiment est également corroboré par l'expérience de M. Pasteur, dans laquelle une corde enduite de *Mycoderma aceti* (*mycelium ?*) transforme en vinaigre l'alcool affaibli qui glisse dessus, tandis qu'il n'en est rien si le *Mycoderma* manque. Pour ma part, je n'ai constaté qu'un fait, admis d'ailleurs par M. Pasteur, c'est qu'un certain degré élevé d'acidité semble suspendre la végétation du *Penicillium* ; alors cette moisissure persiste durant de longs mois sans changement appréciable, et sous la forme d'une couenne épaisse, à la surface du liquide qui reste acide. La levûre a toujours aussi une réaction acide ; si on la rend neutre, elle régénère l'acide presque aussitôt ; fortement saturée d'alcali, elle cesse de fermenter. L'acide de la levûre est l'acide acétique. Il est remarquable que cet acide en excès suspend à la fois la fermentation et la végétation fongine.

Ces faits, qui mettent hors de doute la part des *mycelium* fongins à la formation du vinaigre, semblent cependant contredits par les observations suivantes :

1. De l'eau miellée, bouillie, additionnée de jus de viande gâté et rempli de Bactéries agiles, est renfermée dans un appareil à fermentation ; au bout de trois semaines, ce liquide versé sur la main répand une odeur piquante et fugitive, il contient un acide, très-certainement de l'acide acétique, qui s'y est développé sans la moindre participation d'une végétation fongine quelconque, même microscopique ; cet acide n'a pu, ce semble, être produit que par des Bactéries.

2. Sur une décoction de foin demeurée en repos pendant un mois, et dont la réaction était faiblement alcaline, j'ai observé une fois un gros pulvinule de *Penicillium*, dont la partie mouillée n'offrait pas de réaction acide. Il est vrai que la base de ce pulvinule se renouvellant sans cesse, il pouvait y avoir une neutralisation continue. Le liquide contenait des *Monas Crepusculum* et des Bactéries agiles; son odeur était celle du foin, et n'avait rien de fétide.

XVII. *Du sucre mouillé* (*feuchter Zucker*). — Un pain de sucre est dit *mouillé*, comme on sait, lorsqu'il est humide par places, qu'il est grisâtre, qu'il ne rend pas de son quand on le frappe, et, pour tous ces motifs, il perd de sa valeur dans le commerce. En faisant fondre ce sucre dans l'eau, j'ai obtenu, par des décantations répétées, un dépôt très-faible, qui contenait, en même temps que des cristaux de gypse, des Bactéries, le *Monas Crepusculum*, des spores germées et non germées, et des filaments de *mycelium*. Cultivé sur le tissu de la pomme de terre, ce sédiment m'a donné du mucus bactério- et monadophore à réaction alcaline (1), dans lequel quelques bactéries étaient douées de mouvement, puis des spores de *Penicillium* en germination, le *Fusarium lateritium*, un *Sporotrichum*, le *Stysanus monilioides* (Cord., *Ic.*, t. II, fig. 72), l'*Echinobotryum parasitans* (Cord., *Prachtfl.*, pl. VIII, fig. 10) et autres Champignons filamenteux.

Je présume qu'un *mycelium* est la cause de l'hygroscopicité fâcheuse du sucre *mouillé;* on peut se rappeler à cette occasion que les pulvinules de *Penicillium*, qui végètent activement, absorbent une telle quantité d'eau que ce liquide est excrété à leur surface sous la forme de grosses gouttes de rosée. Le *Pilobolus roridus* et le *Merulius lacrymans* (*Hausschwamm*) sont aussi des exemples remarquables de cette excrétion aqueuse. De même, si l'on fait germer sur une goutte d'eau, protégée contre l'évaporation, un grand nombre de spores de *Penicillium*, il peut

(1) L'alcali contenu agit à froid sur une goutte d'acide acétique sans déterminer de trouble, et il ne disparaît pas par la dessiccation de la matière.

arriver que les filaments-germes absorbent toute la goutte, comme le ferait du papier brouillard.

XVIII. *De l'acide lactique.* — 1. *Du Lait.* — Le lait acide ne contient presque jamais que des Bactéries immobiles ; s'il en offre quelques-unes d'agiles, c'est seulement au début de son acescence ; ces corpuscules sont nombreux, relativement à l'abondance des *mycelium* fongins et des cellules de levûre gemmifères qui sont distribués dans toute la masse du lait, depuis la crème jusqu'aux couches inférieures du liquide. Toute cette végétation constitue l'*Oidium lactis*, qui est bientôt un feutre délicat, une sorte de velours, de la surface duquel se détachent incessamment des conidies. Plus tard apparaît en général le *Penicillium glaucum* fructifié, et de temps en temps aussi un *Cephalosporium*. L'*Oidium lactis* cultivé sur le tissu de la pomme de terre donne naissance au *Penicillium glaucum*.

S'il est conservé dans une chambre chaude, le lait, au bout de dix-huit jours environ, devient alcalin ; alors on y trouve une innombrable quantité de Bactéries agiles, les mêmes sans doute qui, jusque-là, étaient restées immobiles, du moins est-il impossible de les distinguer de celles-ci. La réaction alcaline devient peu à peu plus intense, et l'odeur caséeuse s'accuse de plus en plus. Il faut cependant que la liqueur soit chauffée pour que l'acide acétique y donne lieu à un nuage d'ammoniaque. Au bout de cinq semaines environ, le mouvement des Bactéries cesse pour la deuxième fois et probablement pour toujours, car il semble qu'on assiste à la mort réelle de ces corpuscules. Par la forme et la grosseur, elles imitent absolument les Bactéries qui se rencontrent dans le jus de viande corrompu, et il ne se peut qu'elles ne leur soient identiques. Deux à quatre gouttes de ce jus très-riche en Bactéries agiles et à réaction alcaline (avec développement d'ammoniaque) étant mêlées à un pouce cube de lait, on remarque que ce lait caille deux jours plus tôt que le lait pur, tenu auprès comme contre-épreuve (1), et qu'il atteint

(1) Je crois que cette observation donne la clef de l'explication que réclame encore aujourd'hui l'action de la présure sur le lait, dans la préparation du fromage.

aussi plus tôt que lui un haut degré d'acidité. C'est avec peine que dans le lait resté pur on rencontre quelques Bactéries isolées, au moment où l'autre lait présente dans le champ du microscope un nombre immense de ces corpuscules. De telles Bactéries sont généralement du plus petit volume, mais immobiles, sans doute à cause de l'exagération de l'acidité; elles sont faites chacune d'un ou deux segments et sont manifestement en train de se multiplier. De plus, elles sont tantôt immobiles et tantôt agiles ou, inversement, elles passent du mouvement au repos, suivant le développement de l'acide ou de l'ammoniaque, et aussi suivant les circonstances ambiantes. A proprement parler, le moment de la putréfaction de la chair vient après celui de l'acide lactique, bien que ce dernier soit court et mal précisé.

Quelque chose ressort évidemment de ce qui précède, c'est que dans le domaine des Bactéries, qui est aussi celui des Vibrions, on ne saurait désormais parler de ferments spécifiques, pas plus que dans l'histoire des levûres, après toutes les preuves que j'ai précédemment fournies.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, le lait se conserve sans altération appréciable pour nos yeux, quand on le renferme avec un volume égal d'air dans un tube de verre étroit, fermé à la lampe et plongé dans l'eau bouillante pendant une à trois heures; plus cette immersion est prolongée, plus le lait prend une couleur rougeâtre. Si le lait était au début pur de toute acidité, il demeure tel un temps indéterminé, quinze mois au moins, gardant une réaction neutre ou alcaline et une parfaite fluidité; la crème s'isole et des traces de caséine non dissoute (1) se déposent au fond du récipient sous forme d'un sédiment fin et discontinu qui, examiné au microscope, se trouve composé de granules très-fins et à peine cohérents. La majeure partie de la caséine est complétement dissoute dans le lait, ainsi que le montre l'essai par l'acide acétique.

Si le lait expérimenté avait primitivement des traces d'aci-

(1) Cette portion de caséine est probablement déjà telle dans le pis de la vache (voyez Commaille, *Jahresb. f. Chem.* pour 1866, p. 713).

dité, il s'ensuit une coagulation proportionnelle de la caséine, naturellement peu importante et qui ne s'accroît pas avec le temps (du moins dans le cours de quatre années) ; le phénomène se produit lentement, il demande des semaines, et ne donne lieu qu'à de petits flocons sans compacité. Dans ces conditions, les Bactéries sont toujours mortes, on ne les voit qu'éparses, sans mouvement, exactement comme elles se rencontrent dans le lait communément vendu sur les marchés. Le lait tout à fait frais n'en présente aucune.

J'ai essayé sans succès d'appliquer ce procédé à la conservation pratique du lait. On conçoit que pour cet objet des vases de plus grande dimension sont indispensables, mais aussi, avec leur capacité, augmente la difficulté de chauffer convenablement leur contenu. Leur occlusion n'a pu non plus être obtenue d'une manière satisfaisante. J'employais des flacons fermés avec un bouchon de liége fortement enfoncé et recouvert d'une couche de 1 à 3 centimètres de soufre fondu. Le soufre ne fond, à la vérité, que vers 186 ou 187 degrés R., mais il se ramollit longtemps avant de fondre, et cela suffit pour qu'il ne procure pas une fermeture hermétique. Peut-être réussirait-on mieux, si pendant qu'on chauffe les flacons, on protégeait par un écran leur col ou leur ouverture, contre l'action de la vapeur de l'eau bouillante. En remplissant les vases jusqu'au bouchon et en interceptant absolument l'accès de l'air, on devrait empêcher le beurre de rancir.

J'ai traité de la même manière que le lait de l'eau dans laquelle j'avais émietté du pain ; les tubes de verre contenant ce mélange n'étaient remplis qu'à moitié, je les fermais à la lampe et les portais à des températures diverses, jamais pourtant jusqu'au point de l'ébullition de l'eau. Dans aucun de ces récipients il ne se développa un Champignon quelconque ; le liquide offrit constamment une réaction fortement acide, et une odeur faiblement aigrelette. L'acidité ne manquait que dans les tubes qui avaient été chauffés au-dessus de 84 degrés C.; la réaction y était neutre. L'examen microscopique ne fit découvrir que des Bactéries immobiles et peu abondantes; le *Monas Crepuscu-*

lum faisait défaut. L'air renfermé dans les flacons avait suffi au développement des Bactéries, et c'est à ces petits êtres qu'on peut bien attribuer l'acidification observée, laquelle était due à la présence de l'acide lactique mêlé peut-être à un peu d'acide acétique.

Si l'on pouvait chauffer du lait jusqu'à ébullition, dans un récipient fermé par un tampon de ouate ou terminé en manière de tube recourbé, l'air pouvant accéder, on devrait s'attendre à ce que les spores de Champignons qui pourraient exister dans le lait seraient tuées, tandis que les Bactéries seraient conservées intactes, puisque celles-ci résistent quelque temps à une pareille épreuve dans les liqueurs neutres ou alcalines; on s'imaginerait même avoir trouvé là une méthode pour expérimenter séparément l'action des Bactéries et celle des spores fungines. Malheureusement l'expérience est inexécutable, parce qu'en de telles conditions, l'air accédant librement, le lait se recouvre d'une pellicule, et par suite il monte et se répand hors des vases, de sorte qu'à proprement parler il ne peut bouillir tout entier; chauffé au contraire dans un tube fermé à la lampe, il ne s'enfle pas et ne forme à sa surface aucune pellicule. S'il est seulement chauffé aussi bien que possible sous un bouchon d'ouate, son acidification et sa coagulation sont très-retardées, mais ne manquent pas de se manifester; bientôt en ce cas se forme à sa surface une épaisse couche de *Penicillium glaucum* fructifié, ce qui prouve que la température qu'il avait subie avait été insuffisante pour détruire les germes de cette moisissure.

Dans une des expériences précédemment mentionnées, où un flacon imparfaitement fermé par un bouchon soufré avait été chauffé pendant deux heures, le lait, malgré la présence d'un égal volume d'air, ne se coagula peu à peu qu'au bout de vingt-trois jours; la coagulation était grenue ou en petits flocons et elle eut lieu en même temps dans les couches supérieures et inférieures du liquide; je trouvai là très-peu de Bactéries, comme il arrive d'ordinaire pour le lait encore faiblement acide, et quelques-unes d'entre elles étaient agiles, ce qui est rare

dans le lait; ces corpuscules étaient assez uniformément répandus dans toute la masse du liquide. Il n'y avait ni *mycelium*, ni autre trace de végétation fongine. La réaction était acide.

Une autre expérience de même nature donna lieu à la coagulation du lait au bout de six jours. Après soixante-trois jours d'attente le flacon fut ouvert, et, chose vraiment remarquable, malgré la réaction acide du beurre, du sérum et du caséum, je ne trouvai ni *mycelium* quelconque, ni même de Bactéries; si ces productions y existaient réellement, elles devaient au moins y être extrêmement rares et éparses.

Avec un autre liquide que le lait j'ai réussi, comme par hasard, à tuer les champignons, sans nuire aux Bactéries; le fait est tout à fait probant. L'eau miellée qui a été chauffée de 85 à 90° C. sous un tampon de ouate, devient parfois en quelques mois fortement acide; l'acide développé n'est pas appréciable à l'odorat, et, au contact de l'ammoniaque sur un bâton de verre, il ne produit pas de fumée, même étant chauffé et additionné d'acide sulfurique. A ces signes je présume que cet acide n'est autre que l'acide lactique. Dans ces circonstances, la liqueur contient le *Monas Crepusculum*, avec ou sans Bactéries; il y est très-abondant et forme des nuages de mucosités; les *mycelium* fongins font au contraire tout à fait défaut.

Je crois donc que nous avons des motifs légitimes pour regarder les Bactéries comme les auteurs du développement de l'acide lactique. Tel ne semble pas être cependant le sentiment de M. Pasteur, qui attribue à ces corpuscules la faculté de coaguler le lait par une réaction alcaline, l'acidification du même liquide étant probablement due à d'autres organismes (voy. les *Ann. de Chimie et de Physiq.*, t. LXIV, p. 60). M. Pasteur a donné dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (t. LVIII [1864], p. 149, fig. XII) une figure tant du ferment lactique que de la levûre de bière et il trouve que le premier ressemble beaucoup à son *Mycoderma aceti*. Si je comprends bien ces dessins, ce prétendu ferment lactique consisterait en courtes mésobactéries et en *Monas Crepusculum* isolés, et il ne serait pas essentiellement différent de celui dont j'ai parlé plus haut. Cependant, pour ne

signaler qu'un motif de doute, on ne peut se dissimuler la faible proportion de ces petits êtres vis-à-vis de la forte acidification qu'ils produiraient. Il faut aussi remarquer que l'expérience de Gussander relative au beurre semble contredire notre opinion, puisque le passage de l'air au travers du lait retarderait son acescence (voy. A. Müller, *in Landw. Vers.-Stationen*, 1867, p. 37).

Je veux encore en passant noter un fait digne d'intérêt. C'est que durant les chaleurs de l'été il m'est arrivé deux fois de voir du lait laissé en repos monter et se répandre hors du vase qui le contenait, par le fait d'un développement gazeux intérieur et spontané; ce phénomène était manifestement l'indice d'une fermentation alcoolique comme celle qui a lieu pour le *kumiss* des Kirghises; la cause en est restée pour moi fort obscure. En général, l'acidification et la coagulation du lait ne donnent lieu à aucun dégagement gazeux. Au contraire, il y a alors consommation d'oxygène, ainsi que M. Pasteur l'a démontré (*Ann. de Chimie et de Physiq.*, t. LXIV, p. 59). Cet observateur a encore rencontré des Vibrions vivants et agiles dans une circonstance où l'air emprisonné contenait 17 pour 100 d'acide carbonique et seulement 8 pour 100 d'oxygène.

2. *De la Choucroute.*— La sorte de *crème* qui s'amasse à la surface de la choucroute conservée en tonneau, consiste en un *mycelium* blanc qui sur tous les points passe à l'*Oidium lactis;* on y trouve aussi des conidies zymoïdes, des Bactéries immobiles et le *Monas Crepusculum*. En cultivant cette matière sur le tissu de la pomme de terre dans un tube clos, j'en ai obtenu le *Mucor Mucedo* auquel l'*Oidium* ci-dessus nommé appartient surtout comme forme approchée (*Nebelform*) (1), le *Penicillium glaucum*, le *Stysanus Stemonitis*, le *Cephalosporium Acremonium* (Cord. *Icon.*, t. III, fig. 29), le *Fusarium lateritium*, un *Verticillium*

(1) Voyez mes *Icones anal. Fung.*, pl. XX, fig. 16-25. L'*Oidium lactis* n'appartient cependant pas exclusivement au *Mucor Mucedo;* ainsi je l'ai vu, sur du pain humide, être le précurseur du *Penicillium,* sans que le *Mucor* s'y soit pour ainsi dire montré. Voyez aussi la figure 17.

blanc et des mucus bactério-et monadophores. Le liquide exprimé des couches profondes de la choucroute, de celles qui sont jaunes comme le miel, qui ont une odeur vineuse, aigrelette et presque caséeuse, renferme essentiellement les mêmes éléments, du *mycelium* en abondance, l'*Oidium* et des cellules zymoïdes. Ce liquide m'a donné par la culture en tubes clos le *Mucor Mucedo* et le *Cephalosporium Acremonium.*

On ne saurait trouver dans ces observations des motifs suffisants pour attribuer ou pour dénier aux Bactéries une valeur causatrice dans la formation de l'acide lactique de la choucroute. Si elles ont, en effet, essentiellement part à ce phénomène, sans doute qu'elles mettent elles-mêmes, dans les liquides appropriés, une limite à leur développement, comme le fait la levûre par rapport à la formation de l'alcool et de l'acide acétique. Au mois de novembre, la choucroute fraîchement préparée et salée comme de coutume, est encore neutre au bout d'une semaine; on y trouve en assez grande abondance des Bactéries simples ou à plusieurs articles, constituant pour partie de longs chapelets de *Leptothrix*, et presque toutes dépourvues de mouvement, quoique manifestement en voie de multiplication très-active; les cellules de levûre y sont en travail de gemmation. La surface de la choucroute offre une écume telle que celle qui caractérise la fermentation alcoolique.

XIX. *Du sang de rate* (*Milzbrand*). — On a déjà beaucoup écrit sur ce sujet; pour abréger ce que j'en veux dire, je me bornerai à renvoyer le lecteur à mes Comptes rendus mycologiques (*Bot. Zeit.*, ann. 1865, p. 100 et suiv., et ann. 1868, p. 107 et 182). Mes observations personnelles réitérées me laissent à peine douter aujourd'hui que la présence des Bactéries soit ici un caractère pathognomonique; peut-être même qu'indépendamment d'une action chimique délétère, ces corpuscules en exercent une autre purement mécanique sur le système capillaire. Il est vrai qu'il m'est arrivé une fois de ne pouvoir trouver des Bactéries dans le sang du bras d'un jeune garçon qui venait d'être atteint à ce membre de *sang de rate;* ce sang fut inoculé

sans succès à deux lapins. Peut-être l'affection morbide était-elle encore purement locale et toute concentrée dans la région de l'ulcère ou foyer d'infection. J'ai rencontré en abondance de petites bactéries isolées et des filaments composés des mêmes bâtonnets dans la lymphe (légèrement teintée de sang) fraîchement retirée par incision d'un abcès qu'un malade du *sang de rate* avait à la main. Cette lymphe inoculée à un mouton fut contagieuse pour lui, car cet animal mourut au bout de quatre jours de la maladie du *sang de rate*. Les bactéries qui caractérisent cette maladie ne sont pourtant, sous aucun rapport, autant du moins que l'œil en peut juger, différentes de celles qui s'observent dans le lait aigre, dans les jus de viande corrompus ou dans la fermentation butyrique, et personne, que je sache, n'a jamais pu mettre sur le compte de ces corpuscules une infection morbide quelconque. Les produits de la culture artificielle sont également identiques; ainsi, j'ai obtenu du sang charbonneux déposé sur des fragments de pomme de terre, dans un tube clos, des mucus jaunes, bactério- et monadophores, riches en micro- et méso-bactéries, souvent disposées en longs chapelets et telles absolument qu'elles se trouvent dans le sang de l'homme et des animaux morts de la maladie du *sang de rate*. Il est encore à remarquer que les lapins inoculés soit avec du sang très-bactériophore emprunté à des cadavres humains ou à des cadavres de moutons et de lapins morts du *sang de rate*, soit avec le pus des plaies et des ulcères d'animaux affectés de ce mal, n'ont pas toujours été infectés, bien qu'ils aient tous été traités de la même manière, c'est-à-dire inoculés sur le front (1); cependant un examen préalable du sang employé y avait toujours constaté la présence d'une énorme quantité de bactéries. Celles-ci n'y ont été vues qu'immobiles et plus ou moins distinctement articulées. Les plus petites bactéries sont seules agiles et seulement un ou deux jours après la mort des malades. Il faut ajouter que suivant quelques auteurs, les bactéries ne se trouveraient dans le sang

(1) J'étais obligeamment assisté dans ces expériences par M. le docteur Bose, médecin assistant à la clinique chirurgicale de l'Université de Giessen.

des victimes du *sang de rate* qu'un certain temps après le décès, c'est-à-dire à un moment où on les peut rencontrer pareillement dans le cadavre des animaux morts du typhus et de diverses autres maladies. Brauell, auquel on doit le plus d'observations précises, dit n'avoir jamais trouvé les bactéries dans le sang que très-peu de temps avant la mort ou même seulement après. Dans le cours de mes expériences, je les ai vues une fois dans le sang d'un lapin trois heures avant sa mort, c'étaient des mésobactéries isolées. Une autre fois, également chez un lapin, je ne les ai observées, mais déjà très-abondantes, qu'environ six heures après la mort de l'animal; chez une vache également victime du *sang de rate*, les bactéries se sont montrées deux heures après la mort; dans tous les autres cas, au nombre de treize, qu'il m'a été donné d'observer, le sang expérimenté avait cessé depuis vingt-quatre heures et plus de participer à la vie, de sorte que la présence des bactéries n'était plus là qu'une circonstance ordinaire et sans signification particulière.

Un dernier fait à mentionner, c'est qu'un jus de viande corrompu qui contenait pourtant une grande quantité de bactéries, en apparence identiques avec celles du *sang de rate*, a été par trois fois inoculé à des lapins sans déterminer aucun phénomène morbide. S'il est vrai qu'une vache malade du *sang de rate* peut mettre bas un veau sain, il en faut conclure que le principe morbide demeure, sans en sortir, dans le sang de la mère; d'après cela, ce serait une matière solide et non un poison dissous. Le fait ne manque pas non plus de signification au point de vue de l'empoisonnement du sang par filtration. Dans mes expériences avec le docteur Bose, je n'ai pu réaliser, avec un papier double, une filtration artificielle satisfaisante du sang d'un mouton malade du *sang de rate;* ce sang inoculé après l'opération se montra encore extrêmement contagieux; il est vrai que des masses de bactéries avaient passé au travers du filtre.

XX. Je possède aussi quelques observations, mais peu de résultats positifs, touchant la diphthérite, la scarlatine et la vaccine; je n'ai trouvé là, en fait de corps de nature certainement

fongine, ou même de corps organisé quelconque, absolument rien dont la présence ne pût être considérée comme toute fortuite et accidentelle. On conçoit, par exemple, que s'il existe une exsudation diphthéritique en arrière de la voûte palatine, il arrivera inévitablement que l'air inspiré par le malade transportera là quelque spore de *Penicillium*.

Quiconque a essayé, par exemple, de cultiver le *Mucor stolonifer* pur et dégagé de tout *Penicillium*, et voudra bien se rappeler que sur dix expériences instituées avec toutes les précautions imaginables, neuf ou à peu près ne réussissent point, quiconque encore réfléchira à l'ubiquité de cette moisissure et à l'extrême difficulté de l'éviter, celui-là ne s'étonnera pas que je tienne pour à peu près impossible de conserver le virus-vaccin sur un bâtonnet ou dans un tube capillaire, comme de le transporter directement d'une pustule variolique sur un *substratum* approprié, et ce à l'intention de cultiver quelque Champignon, sans qu'à l'insu de l'observateur et malgré lui, le *Penicillium* ne se mêle aux préparations. On peut très-justement dire la même chose des bactéries et du *Monas Crepusculum*. Aucun appareil de culture artificielle, et je parle des meilleurs, ne saurait efficacement protéger contre l'invasion de ces productions ubiquistes ; je ne puis cependant ne pas recommander encore comme préférables à tous les appareils décrits jusqu'ici, les tubes particuliers (*Dunstrohre*) dont j'ai déjà si souvent parlé. Ce n'est point, en effet, dans ces tubes que la pureté des préparations s'altère, les corps étrangers s'y mêlent pendant qu'on les dispose, ou bien ils se rencontrent déjà sur le *substratum* primitif. Je ne vois vraiment, pour le moment, aucun moyen d'éviter ces inconvénients. Il nous faut donc mettre sur le compte d'un heureux hasard ou du grand nombre des spores employées, si des spores semées d'un *Penicillium* on obtient en général le même *Penicillium*, et si des spores d'un *Mucor* on peut souvent aussi voir renaître ce *Mucor;* mais il arrive bien fréquemment que ce *Mucor* est dès le début accompagné d'un *Penicillium* qu'on sait parfaitement n'avoir point semé, et qui végète promptement avec tant de vigueur qu'il étouffe le *Mucor*. Ainsi se comporte

également sur un *substratum* humide le mucus bactériophore vis-à-vis du *Penicillium*, lorsque l'un et l'autre s'y trouvent en présence.

Cultivée sur le tissu de la pomme de terre, la matière diphthéritique (sang ou exsudations) donne naissance à un mucus monado- et bactériophore, à des *Penicillium*, à des cellules zymoïdes, en un mot, à toutes les productions que j'ai signalées dans les expériences précédentes. Les bactéries étaient le plus souvent immobiles; pourtant je les ai vues quelquefois douées d'agilité ; le *Monas Crepusculum* s'est montré une fois coloré en violet, comme s'il passait au *M. prodigiosa;* dans une autre circonstance, il était doué de mouvement.

Les corpuscules de Cornalia (*Nosema Bombycis* Næg.) qui se rencontrent, comme on sait, dans le sang du ver à soie, mort victime de la *pébrine*, ne sont pas, d'après le peu que j'en ai pu savoir, essentiellement différents du *Monas Crepusculum.*

On a aussi attribué le choléra aux bactéries, Klob les ayant trouvées en grande quantité, ainsi que le *Monas Crepusculum*, dans les selles des cholériques. Mais on sait que ces corpuscules existent pareillement dans les déjections de l'homme affecté de simple diarrhée, et même dans celles de l'homme sain.

Tout est encore à faire ici : on a, entre autres choses, à trouver une méthode sûre pour mettre à l'abri de l'invasion de toute production étrangère les essais de culture artificielle appliqués à divers Champignons ; il y a à rechercher quels sont pour cet objet les *substratum* les plus favorables et, chose capitale à mon sens, quelles sont les conditions biologiques et chimiques du développement des bactéries et autres corpuscules analogues. On est autorisé à présumer, en effet, que suivant les circonstances extérieures et les milieux dans lesquels se trouvent ces petits êtres, ils donnent lieu à des produits très-différents, et que d'un autre côté, il n'y a point de ferments spécifiques pour chaque genre de fermentation ; il est bien plus vraisemblable que tous les phénomènes de fermentation et de putréfaction sont dus soit à des conidies fongines d'origines très-diverses, soit à des monades et à des bactéries, ou à ces deux ordres d'agents à

la fois. Cette opinion s'appuie sur le fait signalé plus haut que des bactéries ammoniacales transportées dans du lait, en accélèrent l'acidification; elle s'étaie encore sur ce que les *Mucor*, les *Penicillium* et autres Mucédinées se comportent si différemment dans l'air comme végétaux aériens, et dans l'eau ou autre liquide à l'état de levûre immergée. Ces diversités biologiques, les seules qui soient bien connues jusqu'ici ou tout au moins suffisamment démontrées, je pense, ne doivent jamais être perdues de vue dans toutes les questions relatives au sujet qui nous occupe. Pour le moment, je reste convaincu qu'à l'exception de la levûre et des ferments acétique et butyrique, tout le reste est encore enveloppé d'obscurités et que notre science se borne à des hypothèses plus ou moins fondées.

Le but de mes observations était d'apprendre à mieux connaître les organismes en question et d'en donner des caractères plus précis qu'on n'avait pu le faire encore; puissent les résultats que j'ai obtenus frayer une voie plus directe et plus profitable à l'étude des phénomènes qui sont attribués à ces petits êtres.

EXPLICATION DES FIGURES.

Les figures sont généralement dessinées grandies 363 fois; celles qui sont marquées d'un astérisque sont plus grossies.

PLANCHES 1 ET 2.

Fig. 1. Microbactéries unicellulaires et d'inégale longueur *; *b*, chapelets composés des mêmes bâtonnets; *c*, microbactéries soudées entre elles et vues en différentes positions pendant leur agilité; **, deux Bactéries soudées entre elles sans que leurs contours apparents se touchent, d'où l'on peut conclure l'épaisseur de leur enveloppe muqueuse; *d*, filament replié sur lui-même; *e*, filament flexueux desséché, près de lui s'en trouve un autre d'une épaisseur inégale.

Fig. 2. Corpuscules du sang de l'homme, vus sous la même amplification.

Fig. 3. Plusieurs *Spirillum*; la rotation de ces singuliers êtres est parfois assez irrégulière.

Fig. 4. Filaments bactériens courbes; *b*, articles simples, à la fois courbes et renflés en massue aux extrémités.

Fig. 5. Mésobactéries. *, Articles grossis et en partie courbes; *b*, chapelets; le plasma est en *c* condensé sous forme de granules; *d*, accroissement d'un filament dans l'espace de trois heures et demie, il s'est accru de la partie comprise entre B′ et C′; *e*, chapelet fait d'articles courbes; *f*, chapelet d'une longueur peu ordinaire; *g*, fragments de chapelets ou filaments courbes et inégaux. Dans la figure I, une des cellules du filament bactérien est remplie d'air; en II, le plasma est distribué en traînées allongées.

Fig. 6. Articles isolés de mésobactéries qui se sont gonflés dans l'eau et renflés en massue aux deux bouts.

Fig. 7. Macrobactéries; *b*, deux cellules dessinées à part et plus grossies; *c*, un chapelet.

Fig. 8. Petites masses muqueuses guttiformes, qui forment des sortes de nébulosités dans l'eau miellée; elles sont formées de *Monas Crepusculum* et de microbactéries isolées.

Fig. 9. Mucilage monadophore et bactériophore à la fois, qui a été cultivé sur un fragment de pomme de terre; *b*, portion grossie.

Fig. 10. Filaments fongins de la nature des *Cylindrophora*, des *Collarium* ou des *Sporotrichum;* leur ténuité et la forme des conidies qu'ils produisent rappellent les filaments bactériens; *b*, filaments analogues pris sur un autre *substratum*.

Fig. 11. Autres filaments fongins.

Fig. 12. Divers aspects des mésobactéries. Le *plasma* dans les points L, L, est remplacé par de l'air; ailleurs il est diversement coagulé ou homogène et transparent.

Fig. 13. Chapelets monado-bactériens, où les Monades et les Bactéries semblent se confondre et passer les unes dans les autres.

Fig. 14. Représentation schématique des arrangements divers que présentent les articles des chapelets monadaires.

Fig. 15. Pseudobactéries observées les unes (*a*) dans le *Vicia amphicarpa*, les autres (*b*) dans le *Vicia Ervilia*, et les troisièmes (*c*) dans le Lupin.

Fig. 16. Spores de *Penicillium glaucum* qui ont macéré.

Fig. 17. Germination du même *Penicillium; a*, spores avant la germination; *b*, les mêmes germant, elles se sont fortement gonflées; *c*, filament fertile issu directement d'une spore; *d*, filament-germe émettant un rameau latéral aussi ténu qu'une Bactérie; *e*, article terminal imitant un *Oidium; f*, passage de l'*Oidium* aux filaments-germes et aux conidies globuleuses; *g*, soudures de deux filaments-germes en un seul; *h*, passage à l'*Oidium Lactis*.

Fig. 18. Micro- et Mésobactéries ramifiées.

Fig. 19. *Monas Crepusculum; a*, amas de ces corpuscules, grossis 363 fois; *b*, variations accidentelles dans leur forme elliptique; vus suivant leur grand axe, ils sont circulaires; *c*, *d*, *e*, très-courts chapelets dont les articles sont inégalement allongés ou arrondis; ces paires de monades, quand elles sont agiles, se meuvent indifféremment dans un sens ou dans l'autre; *k*, monades claviformes, anomalie rare.

Fig. 20. Chapelets de monades dont l'un est ramifié.

Fig. 21. *a*, levûre qui a macéré ; I, les granules plastiques intérieurs sont animés d'un mouvement moléculaire ; II, deux vacuoles se voient au milieu de ces granules ; III, levûre bouillie et comme rongée extérieurement ; IV, semblable cellule de levûre avec de nombreuses vacuoles dans son *plusma*. — *b*, spores de *Penicillium ;* I, deux spores qui semblent conjuguées, mais c'est là un pur phénomène d'optique, de même que lorsque les doigts sont tenus devant une lumière, ils semblent se confondre par places ; il n'y a ici aucune ouverture réelle de communication ; II, spore entourée d'un halo, ce qui ne constitue encore qu'une illusion d'optique ; cette spore offre une légère saillie là où elle était précédemment en contact avec une autre spore ; *c*, spore de *Mucor stolonifer ; d*, résidus de la même, après macération.

Fig. 22. Endogonidies de *Penicillium glaucum*. L'enveloppe est rejetée, puis a souvent lieu la germination ; passage à l'*Oidium lactis*.

SUR DEUX NOUVEAUX TYPES GÉNÉRIQUES

POUR LES

FAMILLES DES SAPROLÉGNIÉES ET DES PÉRONOSPORÉES

Par MM. E. ROZE et M. CORNU.

I

CYSTOSIPHON PYTHIOIDES.

Le *Wolffia Michelii* Schleid. (*Lemna arrhiza* L.) est une plante aquatique, assez localisée en France : on la signale en divers endroits, notamment en Sologne, dans quelques mares aux environs de Romorantin, où elle a été découverte par M. E. Martin, et d'où provenaient les échantillons d'étude qui ont fait le sujet de ce mémoire.

Cette petite plante, qui nous semble d'autant plus simplement organisée que nous ne la rencontrons que dans sa période végétative, est, comme on le sait, dépourvue à la fois de tige, de feuilles et de racines : elle constitue une masse celluleuse, sorte de sphéroïde tronqué qu'on est convenu d'appeler fronde, dont la base est immergée et dont la partie plane, seule, est aérienne et présente quelques stomates. Pendant l'été, elle se multiplie par gemmation (1) ; mais les premiers froids de l'automne ne sont pas seuls, comme on le croyait jusqu'ici, à en entraver la multiplication gemmulaire. En effet, un parasite spécial à ce *Wolffia*, non-seulement vit à ses dépens, mais de plus le frappe de mort en s'assimilant ses propres éléments nutritifs : c'est de l'histoire de ce champignon entophyte qu'il va être ici question.

(1) Voyez pour de plus amples détails sur ce *Wolffia* : J. Hoffmann, *Wiegmann's Archiv. für Naturgeschichte*, 1840 (*Ann. des sc. nat.*, 2e série, t. XIV) ; Schleiden, *Linnæa*, IV, 1839 (*Ann. des sc. nat.*, 2e série, t. XIII), et *Beiträge zur Botanik*, 1844 ; Weddell, *Ann. des sc. nat.*, 3e série, t. XII.

Individus attaqués; leur aspect. — En général, et pour des raisons plausibles, le nombre des individus attaqués est fort restreint quand on récolte la plante à la fin de l'automne, époque pendant laquelle ont eu lieu nos observations. Mais en maintenant toute la masse du *Wolffia* dans une chambre où la température ne varie que de 10 à 15°, le nombre des individus malades augmente rapidement. Pour cela, on peut disposer la plante dans des soucoupes en poterie, sur un centimètre d'eau, ou bien la placer entre du papier buvard humide. Après un mois et plus, le *Wolffia* y est encore vivant et en bon état. Du reste, ces deux modes d'installation ont leur utilité, car on en peut tirer des résultats différents pour l'étude.

Les individus malades se reconnaissent assez facilement et à première vue, en ce qu'au lieu d'être brillants et fermes, ils sont mous, ternes ou transparents ; leur couleur est tantôt d'un vert intense, tantôt d'un jaune pâle : ils se distinguent ainsi des individus morts qui sont plutôt légèrement bruns. Le peu de résistance des frondes envahies par le parasite en facilite d'ailleurs beaucoup l'étude, car elle permet d'en obtenir aisément de très-bonnes préparations microscopiques.

Mycélium. — Le mycélium de ce champignon parasite est formé de filaments presque cylindriques, rarement cloisonnés, très-rameux, mais dépourvus des suçoirs que M. de Bary a signalés chez les *Cystopus* et les *Peronospora*. Ils traversent les cellules centrales, franchissent les lacunes et se répandent surtout dans les cellules de la périphérie. Ils y émettent de nombreuses ramifications qui s'allongent et se ramifient à leur tour.

Ces filaments perforent les parois des cellules en s'y appliquant perpendiculairement, et les traversent en y subissant un très-léger étranglement. Remplis à l'origine d'un plasma épais, à peine granuleux et sans vacuoles, ils se vident plus tard pour la formation des organes de reproduction et deviennent beaucoup moins visibles. A côté de ces filaments, dans les cellules, la chlorophylle paraît comme altérée et informe ; dans certains cas même, elle disparaît tout à fait. Quant aux grains d'amidon,

si abondants parfois dans les frondes saines, on n'en retrouve plus souvent aucune trace.

Le mycélium du parasite, en pénétrant dans la fronde, y facilite du reste la pénétration de l'eau : aussi est-ce au fond des soucoupes qu'il faut, au bout de quelques jours, y chercher les individus attaqués. Quelques-uns de ceux-ci y prennent bientôt une forme presque régulièrement sphérique : l'observation y dénote alors un grand écartement dans l'ouverture des stomates, et la complète disparition de l'air de toutes les lacunes respiratoires.

Organes de reproduction asexuée. — Ces organes sont de véritables *zoosporanges*, situés d'ordinaire dans les cellules périphériques de la partie immergée de la fronde, très-rarement dans les cellules aériennes. Un seul zoosporange suffit, en général, pour remplir l'une de ces cellules. Ils sont sphériques, quand ils se développent dans une cellule régulière, et plus ou moins allongés dans les cellules oblongues qui bordent l'ouverture de la cavité gemmipare.

Le filament qui rattache le zoosporange au mycélium est vide et hyalin : peu visible d'abord, par suite de l'opacité du zoosporange, il réapparaît de nouveau quand ce dernier s'est vidé de son contenu.

Formation du zoosporange. — Après que le mycélium a pris possession de la fronde et s'y est ramifié en tous sens, certains filaments gonflent leur extrémité libre sous la forme d'un sphéroïde dans lequel afflue tout leur plasma. Ce sphéroïde remplit bientôt toute la cellule où il s'est développé : il s'isole alors du mycélium par une cloison basilaire spéciale. Le plasma primitif s'y élabore insensiblement ; enfin une assez grosse vacuole y apparaît : c'est l'indice de la maturité de l'organe. Ajoutons ici que cette formation a lieu simultanément dans toutes les cellules, car ce n'est que rarement qu'on trouve à la fois des zoosporanges jeunes et des zoosporanges adultes. Quant au nombre des zoosporanges contenus dans une fronde, il est parfois assez considé-

rable, puisque près de la moitié des cellules périphériques peuvent en présenter dans certains cas.

Si l'on observe avec attention sur une fronde remplie de zoosporanges, ceux de ces derniers dans le plasma desquels apparaît nettement la vacuole signalée, on ne tardera pas à voir quelques-uns d'entre eux émettre un petit tube qui, en moins de deux heures, atteindra la paroi interne de la membrane cellulaire, seul obstacle qu'il ait à franchir pour déboucher dans l'eau ambiante. Des observations très-précises nous ont permis de constater alors les diverses phases qui accompagnent le phénomène de la perforation de cette membrane. Le tube, à son point de rencontre avec la membrane, éprouvant une résistance très-grande à continuer son évolution, s'épate sur la paroi qui lui fait obstacle en gonflant légèrement son extrémité ; un temps d'arrêt semble suivre cette dernière phase ; puis, on voit apparaître soudain, de l'autre côté de la membrane, une sorte de petit mamelon : c'est le sommet du tube qui, d'abord d'un diamètre plus petit que le gonflement du tube primordial, finit insensiblement par en atteindre la dimension. La pénétration a donc lieu par suite d'une action exosmotique qui dissout lentement la membrane cellulosique ; mais cette résorption est localisée, car il se produit un léger étranglement du tube dans le point résorbé. Du reste, la membrane elle-même ne présente aucune altération visible autour de cette perforation, et la plus puissante lentille ne peut faire soupçonner la plus légère solution de continuité entre la paroi du tube et la membrane perforée. Le parasite du *Wolffia*, comme le *Pythium entophytum* cité à cette occasion par M. Pringsheim, pourra donc servir ainsi d'excellent exemple pour l'étude des perforations produites par des champignons parasites.

Sur les échantillons maintenus dans un papier buvard humide, ou sur ceux des soucoupes restés sur la poterie imbibée d'eau, en dehors du liquide, le tube dont il s'agit atteint dans quelques cas une longueur égale à près de douze fois le diamètre du zoosporange, ce qui, pour un zoosporange moyen de $0^{mm},02$ de diamètre, peut être évalué à $0^{mm},24$; mais ce fait extrêmement rare ne se produit qu'au bout de plusieurs heures. Ordinaire-

ment le tube a une longueur beaucoup moindre; quelquefois même il est à peine développé. Il est entièrement rempli, quand il est court (ce qui n'a lieu que vers son extrémité quand il est long), d'un mucus réfringent, à peine chargé de très-fines granulations, mais d'ailleurs nettement distinct du plasma de l'intérieur du zoosporange, qui semble être alors lui-même le siége de mouvements très-lents, ce que le changement de place de la vacuole permet quelquefois d'y constater. Quoi qu'il en soit, le tube s'allonge jusqu'à ce qu'il ait atteint sa dimension normale, indiquée par l'apparition d'une sorte d'épaississement à son extrémité. Peu de temps après, le plasma du zoosporange s'épanche soudain par cette même extrémité, et cela plus ou moins lentement, soit d'une façon continue, soit par saccades, mais finalement de manière à y former un véritable globule plastique. Puis, au bout de quelques autres minutes, ce globule se montre entouré d'une membrane très-mince : or, chose remarquable, cette membrane ainsi disposée en forme de vésicule, s'adapte parfaitement à l'extrémité du tube, si bien qu'une communication se trouve dès lors établie entre l'intérieur de la vésicule naissante et la cavité même du zoosporange.

De la vésicule-mère et *des zoospores*. — Ce fait de la soudure de la vésicule à l'extrémité du tube (et par suite la communication établie entre elle et le zoosporange) nous avons eu l'occasion de le constater maintes fois, notamment par le passage ultérieur, dans la vésicule, d'une partie du plasma qui était resté dans le zoosporange, alors que cette vésicule était déjà constituée. Or, ce fait, que semblait-il indiquer, sinon que la vésicule était formée par la boursouflure de l'extrémité du tube sous la pression du mucus plasmique qui s'y précipitait? Cette opinion qui est, du reste, celle émise par M. de Bary pour une formation identique (1), nous semblait de prime abord devoir être adoptée. Mais certaines observations du phénomène nous ayant amené à constater à l'extrémité du tube, lors de cette formation vésicu-

(1) La vésicule qui, chez le *Pythium proliferum* de Bry, proviendrait de la dilatation de la papille du sporange..... (*in* Pringsheim, *Jahrbücher f. w. Botanik*, t. II).

laire, plutôt un épanchement du plasma qu'un gonflement ampulliforme, nous avons été conduits à nous abstenir présentement d'en donner aucune explication hypothétique, nous contentant de rappeler ici ce que M. Pringsheim dit lui-même de ce même phénomène, à propos de ses *Pythium entophytum* et *monospermum* (1), qu'on ne sait si cette vésicule provient de la pellicule la plus interne de la membrane du sporange, ou bien si elle se produit autour de la masse plasmique au moment de sa sortie.

Quelques minutes après la formation de la vésicule-mère, on voit le plasma contenu s'agiter d'un mouvement lent et vague d'oscillation, en même temps qu'un réseau de lignes plus claires apparaît dans sa masse ; puis, le sectionnement s'accentue davantage, et chacune des portions du plasma constitue une zoospore. Il est à remarquer que les cils existent depuis longtemps déjà, bien que l'observation, à l'aide même d'excellentes lentilles, ne les rendent pas aisément perceptibles : cela tient à ce que ces cils se meuvent dans l'espace très-étroit, laissé, par le retrait du plasma, à la périphérie de la vésicule ; mais quand par hasard la vésicule a été crevée pendant l'épanchement du plasma, on voit ces cils rayonner dès le début autour de la masse plasmique. D'où il suit que l'oscillation de cette masse, dans la vésicule-mère, n'est ainsi que la résultante de tous les mouvements ciliaires. Cependant, au bout de dix minutes, les zoospores définitivement constituées s'isolent les uns des autres et se meuvent librement dans la cavité même où elles sont encore enfermées. Très-peu de temps après, une portion de la membrane hyaline et ténue de la vésicule-mère se résorbe, et les zoospores agiles, s'échappant par cette ouverture, continuent dans l'eau environnante leur natation rapide. Presque aussitôt, mais seulement après la sortie de toutes les zoospores, la vésicule-mère disparaît insensiblement à la vue, en achevant de se dissoudre dans le liquide : le tube seul y persiste encore assez longtemps.

Les zoospores présentent un contour irrégulièrement réniforme, d'ordinaire un peu plus aminci à leurs deux extrémités.

(1) *Jahrbücher f. w. Botanik*, t. I (*Ann. des sc. nat.*, 4e série, t. XI).

Elles sont constituées par un mucus hyalin, dépourvu de toute enveloppe propre, au sein duquel se trouvent en suspension un certain nombre de très-petits granules. Au centre de leur face ventrale se distingue un nucléus presque hyalin, à peine réfringent, duquel partent les deux cils antéro-postérieurs. Mais si celles d'un même zoosporange offrent d'ordinaire des dimensions à peu près égales, il en est autrement si l'on compare entre elles les zoospores de divers zoosporanges : elles présentent alors des variations de taille considérables, au point que leur longueur peut aller du simple au double (de $0^{mm},008$ à $0^{mm},016$). Leur nombre, comparé dans plusieurs vésicules-mères, est aussi des plus variables : ainsi, il va de 1 à 49 zoospores, celles-ci comptées avec soin à leur sortie. Or, dans ce dernier cas, la vésicule peut même n'être pas aussi grosse que celle qui n'en renferme qu'une quinzaine environ. Voici, en effet, les dimensions que nous ont offertes deux de ces vésicules-mères : l'une, qui contenait 14 zoospores avait une forme presque ellipsoïdale dont le grand axe mesurait $0^{mm},045$ et le petit axe $0^{mm},034$; l'autre, qui renfermait 49 zoospores, ne mesurait pour le grand axe que $0^{mm},041$ et le petit axe $0^{mm},034$.

Les zoospores, sorties de leur vésicule-mère, s'agitent et nagent plus ou moins longtemps (vingt à cinquante minutes) dans le liquide ; puis, elles s'arrêtent, deviennent sphériques, perdent leurs cils et germent. Il est à remarquer que jusqu'au moment où commence leur inertie, elles conservent assez bien leur forme normale ; mais alors elles se contractent, et il semble qu'à mesure qu'elles arrivent à présenter l'aspect d'une sphère régulière, et que les cils se résorbent, une membrane résistante englobant leur masse, dessine mieux leur contour. L'apparition de cette membrane est bientôt du reste des plus nettes : phénomène bien connu, mais très-important, car on peut dire que la naissance de cette membrane constitue spontanément avec cette zoospore un élément histologique nouveau, en la transformant définitivement en cellule végétale. La germination de cette nouvelle cellule consiste dans l'émission d'un tube, origine première du mycélium. Ce tube, en s'allongeant, devient un filament

assez long qui est d'abord unique et simple, et ne se ramifie que rarement avant sa pénétration dans la plante nourricière. Son accroissement s'effectue au moyen du plasma qui bientôt quitte la cellule primaire, s'isole du reste du filament par des cloisons successives, et se porte toujours de la sorte à l'extrémité en voie d'allongement. Après trente heures, on compte 4-5 cloisons, suivies de 2-3 ramifications au plus. Mais à partir de ce moment, le filament ne s'accroît plus, sa vitalité languit, et bientôt il se décompose dans la préparation.

C'est qu'il lui manque, en effet, les éléments assimilables qu'il trouve dans le *Wolffia*. Nous avons été assez heureux pour constater dans une de nos préparations que des filaments, même très-courts, émis par les zoospores en germination, avaient réussi à pénétrer dans quelques cellules périphériques d'un *Wolffia* très-sain, qui se trouvait dans leur voisinage. Cette pénétration avait eu lieu au moyen de la perforation de la membrane cellulosique de ces cellules, perforation identique en tous points avec celle dont il a été question plus haut et qui était produite par le tube émis par les zoosporanges. Telle est, en effet, la manière dont se propage d'abord le parasite. On voit par là que ces zoospores ne sont à proprement parler que des germes motiles qui, grâce à leur propulsion ciliaire et au moyen de l'eau comme intermédiaire, vont se fixer çà et là sur les frondes immergées du *Wolffia*.

Il est utile d'ajouter cependant que certaines cellules qui pasaissent semblables aux zoosporanges, et dont le plasma offre même une sorte de vacuole caractéristique, émettent aussi comme eux un tube, mais ne donnent pas de zoospores. Ce tube, un peu plus large que les filaments du mycélium, se cloisonne et se ramifie longuement ; en même temps, presque tout le plasma quitte la cellule et passe dans ces ramifications successives ; enfin, après trente heures de croissance, tout le tube se trouve atteindre à soixante fois et plus le diamètre de la cellule ou pseudo-zoosporange.

Quelques frondes de *Wolffia* accouplées par de semblables filaments qui, sortis de l'une, semblaient, grâce à un rapproche-

ment fortuit, avoir pénétré dans l'autre, nous font soupçonner qu'il y a là un second mode de propagation du parasite. Il ressort au surplus de nos observations que, lorsque le tube émis par un zoosporange présente des granulations très-nettes et des vacuoles, qu'il est en même temps d'un diamètre et d'une longueur plus considérables qu'à l'ordinaire, on peut être certain que ce pseudo-zoosporange n'émettra pas de zoospores. Ces constatations permettent de ne pas attendre indéfiniment la formation de zoospores à l'extrémité d'un tube qui n'en doit pas produire.

Assez souvent aussi, on rencontre de ces filaments dans la cavité gemmipare de la fronde, ce qui semble indiquer que le mycélium de la fronde-mère peut envahir de cette façon la fronde-fille. Mais ce qu'il est bon de noter, c'est que ces filaments s'organisent également, quoique sortis de la plante nourricière. Ainsi, ils présentent fréquemment des renflements sphériques ou pyriformes, reproductions en général stériles des organes féconds qui se développent normalement dans les cellules du *Wolffia*.

Organes de reproduction sexuée. — Un autre mode de reproduction consiste dans la formation d'*oogones* et d'*anthéridies* qui concourent à la génération d'*oospores;* ces organes spéciaux, malgré quelques exceptions, paraissent ne se rencontrer que sur des myceliums distincts. Les frondes de *Wolffia*, qui présentent ce mode de reproduction, se reconnaissent très-nettement à l'absence complète de chlorophylle et à la présence, dans certains cas, d'une quantité encore assez notable de grains d'amidon. Ce fait est fort remarquable et doit être rapproché de la disparition complète des grains d'amidon chez les individus envahis par les myceliums à zoosporanges, où la chlorophylle s'est quelque peu conservée. D'un autre côté, la formation des oogones ne paraît pas liée à l'âge du mycélium, non plus qu'à la constitution spéciale des individus : ainsi, l'on rencontre à la fois, et des frondes adultes remplies d'oogones, et de très-jeunes frondes dans le même cas. Ajoutons qu'il arrive même assez souvent

qu'une fronde-mère ne porte que des zoosporanges, alors que la fronde-fille y adhérente offre déjà, dans le nombre plus restreint de ses cellules, un plus grand nombre d'oogones.

La chaleur semblerait ici exercer une influence assez notable : dans nos expériences, en effet, les frondes maintenues à une température de près de 15° ne présentaient pour la plupart que des oogones, tandis que celles conservées à une température inférieure offraient comparativement moins d'oogones que de zoosporanges.

Les *oogones* sont terminaux ou interstitiels. Quand ils sont terminaux, le rameau du mycélium se renfle un peu au-dessous de son extrémité, le plasma y afflue et le renflement ampulliforme devient à peu près sphérique. Bientôt une cloison apparaît, mais à une petite distance au-dessous de la base de la sphère, de sorte que le jeune oogone présente à ses deux pôles deux très-courtes portions de tubes.

Souvent, au-dessous de l'oogone terminal, on en voit un autre se former après le premier, et comme lui par le renflement du mycélium ; alors apparaissent deux cloisons, l'une au-dessus, l'autre au-dessous de la nouvelle sphère, si bien que celle-ci présente à son tour un prolongement du tube initial à chacun de ses pôles.

Quant aux *anthéridies*, leur formation paraît concomitante à celle des oogones. Elles sont constituées par les extrémités renflées et recourbées de certains rameaux du mycélium, qui ne partent pas, à proximité du moins, du filament porteur de l'oogone. Ces extrémités concentrent dans leur intérieur tout le plasma du tube, qui de la sorte se vide et devient entièrement hyalin : une cloison les sépare alors du reste du filament, qui devient lui-même fort difficile à suivre à travers les cellules opalines de la fronde.

Ces anthéridies s'appliquent sur la paroi externe de l'oogone : il y en a quelquefois deux, très-rarement trois par oogone. Elles y poussent un petit prolongement cylindrique par lequel s'épanche tout leur contenu, sauf de rares granules qui restent engagés dans le processus. Le plasma de l'oogone se contracte

d'abord en une masse sphéroïdale, s'entoure bientôt d'une membrane qui s'épaissit notablement en très-peu de temps. C'est l'*oospore*. Pendant la formation de ce nouvel organe, son contenu éprouve quelques modifications : il se résout d'abord en un très-grand nombre de petites sphérules huileuses qui grossissent peu à peu, se réunissent, et finalement se fondent en un fluide légèrement granuleux qui remplit toute la cavité de l'oospore.

Primitivement mince et incolore, l'enveloppe de l'oospore devient légèrement rosée en s'épaississant. Cet épaississement atteint presque la moitié du rayon de la sphère. Sa surface externe est criblée de petites cavités assez régulières, dont l'ensemble simule une sorte de réseau des plus remarquables.

Quant au sort ultérieur de l'oospore, il nous est entièrement inconnu.

Habitat du parasite.—Le champignon entophyte que nous venons de décrire est-il spécial au *Wolffia Michelii?* Quelques recherches faites sur des racines des *Lemna minor* et *gibba* autour desquelles se trouvaient des frondes immergées de *Wolffia*, envahies par le parasite, nous ont permis d'observer dans quelques cellules de ces racines des organes tout à fait analogues aux zoosporanges dont nous venons de parler. Le même fait s'est présenté sur des frondes de *Riccia fluitans :* ce qui nous porte à croire que notre entophyte pourrait également se retrouver chez d'autres végétaux aquatiques.

Étude systématique. — Le parasite du *Wolffia* ne nous paraît pouvoir rentrer exactement dans aucun des genres établis jusqu'ici, qu'on le rapporte, soit aux Saprolégniées, soit aux Péronosporées. On peut dire, en effet, qu'il se rapproche des unes par ses organes de reproduction asexuée, et des autres par ceux de reproduction sexuée. La place, ainsi marquée dans chacune de ces deux familles, conduirait à le considérer comme pouvant servir d'intermédiaire entre elles, et l'on sait que leur réunion fait déjà soupçonner l'existence d'un groupe naturel dans lequel seraient comprises les Chytridinées. Quoi qu'il en soit, et en attendant que

de nombreux matériaux permettent plus tard d'entreprendre, à ce point de vue, une monographie de ce groupe intéressant, énumérons les motifs qui nous ont conduits à ajouter un nouveau genre à ceux déjà connus de la famille des Saprolégniées.

Et d'abord ce qui rapproche notre parasite des Péronosporées, c'est son parasitisme aux dépens d'une plante phanérogame vivante, c'est la situation interne de ses oogones dont l'oospore unique est revêtue d'une enveloppe ou épispore épaisse et rugueuse, c'est aussi leur position interstitielle. Mais ce qui le rapproche davantage des Saprolégniées, c'est son habitat dans la portion immergée d'une plante aquatique ; c'est la formation d'une vésicule-mère pour la génération ultime des zoospores, mode qui se retrouve chez les espèces du genre *Pythium*, dont la composition hétérogène nécessitera probablement quelques subdivisions ; c'est la forme propre aux zoosporanges normaux qui sont globuleux, sans papille, et celle de certains zoosporanges anormaux qui rappellent ceux du *Pythium proliferum* de Bary (1).

Ces diverses considérations, qu'il serait trop long de faire suivre ici d'une comparaison minutieuse entre le parasite du *Wolffia* et chacune des espèces, soit du genre *Pythium*, soit du genre *Myzocytium*, nous ont fait croire que nous avions affaire à un type nouveau, formant provisoirement la limite extrême de la famille des Saprolégniées. Nous avons cru devoir donner à ce nouveau genre le nom de *Cystosiphon*, afin de rappeler la formation du tube émis par le zoosporange pour évacuer son contenu hors de la plante hospitalière ; quant au nom spécifique du parasite du *Wolffia*, il nous a paru que celui de *Cystosiphon pythioides* pourrait servir à caractériser ses rapports assez nombreux avec les espèces du genre *Pythium*.

Voici quelle serait, par suite, la diagnose de cette nouvelle Saprolégniée :

(1) *In* Pringsheim, *Jahrbücher f. w. Botanik*, t. II.

CYSTOSIPHON.

Mycelium entophytum, septis nullis rarisve præditum, cellulas plantæ hospitalis perforans. Zoosporangia plerumque globosa, nonnunquam oblonga, in cellulis periphericis plantæ hospitalis evoluta, per membranam cellularem tubum singulum ad vesiculam matricalem zoosporarum fingendam emittentia. Zoosporæ oblongæ, subreniformes, ciliis binis antero-posterioribus. Oogonia sphærica, terminalia vel interstitialia, oosporam solitarem episporio crasso reticulato generantia. Antheridia unicellularia, hyphos mycelii terminantia, brevem processum in oogoniis protrudentia.

C. pythioides. — In frondis vivis *Wolffiæ Michelii* (Lemnæ arrhizæ L.) parasiticus. Sat frequens in stagnis Agri soloniensis prope *Romorantin*, ubi mense Decembro 1868 primum invenitur.

II

BASIDIOPHORA ENTOSPORA.

Le champignon dont il s'agit ici est un parasite de l'*Erigeron canadense* L. Une sorte d'efflorescence blanchâtre trahit sa présence sur les feuilles radicales des rosettes hivernales de cette Composée, ce qui lui donne, à l'œil nu, quelque apparence avec les *Peronospora* ou les *Erysiphe*. Souvent aussi, les extrémités de ces mêmes feuilles présentent la teinte brune des tissus frappés de mort. Cette marcescence hâtive coïncide avec l'apparition, dans le parenchyme des feuilles, des organes de la reproduction sexuée, tandis que l'efflorescence blanchâtre de la surface de ces feuilles n'est produite que par la réunion des organes de la reproduction asexuée.

Stipes conidiophores; conidies; zoospores. — Les organes de propagation qui se forment sans le concours préalable d'agents

fécondateurs sont représentés par des *conidies*. Ces conidies sont portées sur des supports claviformes, semblables aux basides des Hyménomycètes. Voici, du reste, ce qui résulte de l'étude organogénique de ces conidies.

L'extrémité d'un filament du mycélium interne se fraye, en s'étranglant, un passage au dehors par l'ouverture d'un stomate, puis s'élève perpendiculairement à la surface de la feuille en se gonflant insensiblement, jusqu'à ce qu'il ait atteint une hauteur de 10-12 fois son diamètre moyen. Alors, sort du sommet une petite couronne d'apicules fort courts dont les extrémités se renflent sous la forme de vésicules, qui en se gonflant peu à peu constituent les conidies (1). Celles-ci, arrivées à leur période de maturité, se détachent, mais de telle façon que leur pédicule ou stérigmate se séparant par la moitié, une partie reste adhérente à la conidie et l'autre au tube conidiophore.

Les conidies mûres sont ellipsoïdales et munies à leur sommet d'une papille très-nette ; elles sont remplies d'un plasma finement granuleux. Leurs dimensions varient, en longueur, de $0^{mm},036$ à $0^{mm},020$, en largeur de $0^{mm},023$ à $0^{mm},013$.

Placées dans l'eau, les conidies mûres donnent naissance à des zoospores, et cela d'ordinaire après une heure ou une heure et demie d'immersion. Voici ce qu'on observe dans l'intérieur de ces conidies. Le plasma, finement granuleux, y devient de plus en plus opaque ; puis il se contracte en une masse plastique qui, cessant d'adhérer à la paroi interne de la conidie, s'en isole

(1) Ces basides, chez notre *Basidiophora*, correspondent par suite nettement aux organes conidiophores des *Cystopus* et des *Peronospora*. Il n'est pas, croyons-nous, sans intérêt de mentionner ici une réaction toute spéciale de ces divers appareils conidiophores et de leurs conidies, chez ces trois genres de Péronosporées. Traités, en effet, par le chloro-iodure de zinc liquide, elles prennent une teinte d'un rouge brun (acajou), alors que leur plasma se colore en jaune d'or. Or, le filament du mycélium qui leur donne naissance ne subit en aucune façon cette action colorante du réactif : à peine si elle se manifeste encore sur la partie du filament la plus rapprochée du pied de la baside. Cette réaction assez nette, sur tous ces organes aériens des Péronosporées, dénoterait ainsi une composition chimique spéciale de leurs membranes propres : l'air semblerait donc contribuer à en modifier la nature essentielle. (Voyez à ce sujet ce que dit M. Tulasne de la nature chimique des appendicules des conceptacles des *Erysiphe*, *Ann. des sc. nat.*, 4e série, t. VI, p. 318.)

insensiblement. En même temps, apparaît dans cette masse un réseau de lignes plus claires, qui ne sont autre chose que les points de séparation ou de fractionnement du plasma. Il se forme ainsi de petites masses partielles qui s'isolent de plus en plus; leur ensemble s'agite alors d'un mouvement lent qui s'accélère rapidement. Bientôt ces petites masses plasmiques se séparent, leurs flexions ciliaires deviennent plus manifestes, et les zoospores sont définitivement constituées (1). Leur nombre, dans chaque conidie, est très-variable : nous en avons compté depuis 3 jusqu'à 25. Elles sont à peu près réniformes, parfois granuleuses, et munies de deux cils antéro-postérieurs, partant de leur nucléole centro-basilaire, comme les zoospores des *Peronospora*, avec lesquelles elles ont la plus grande affinité. On les voit glisser les unes sur les autres dans l'étroit espace qui les emprisonne, n'attendant plus pour s'échapper de la conidie qu'une issue leur soit offerte.

Or, la papille, qui antérieurement était très-visible au sommet de la conidie, devenait dans le même temps de moins en moins nette. Par une sorte de gonflement insensible, elle se dilatait à son sommet; sa transparence augmentait de plus en plus; enfin, une sorte de ramollissement se manifestait dans le mucus spécial qui la constitue, indice de sa prochaine résorption. Cette ouverture une fois effectuée au sommet de la conidie, on assiste bientôt à la sortie des zoospores. Leur mode de sortie est fort curieux. En effet, de ce qu'ils sont manifestement plus larges dans tous les sens que ne l'est l'ouverture même du sporange, il faut de toute nécessité qu'ils éprouvent de grandes difficultés à franchir un passage trop étroit. On les voit alors, l'une après l'autre, engager dans l'ouverture leur cil antérieur, et tout en se servant du cil postérieur comme d'une sorte de propulseur actif, s'amincir, s'allonger, finalement tourner sur elles-mêmes comme si elles se vissaient par cette ouverture.

(1) Il nous a paru qu'à partir de ce moment, la conidie éprouvait une légère modification dans sa forme première, ainsi, que d'ellipsoïdale qu'elle était d'abord, et par suite d'une dilatation dans le sens du diamètre transversal et d'un élargissement vers sa base, elle devenait assez exactement ovoïde.

Le nucléole, d'où partent les deux cils de la zoospore, passe tout d'abord après le cil antérieur, qui pendant ce temps paraît décrire dans l'eau de rapides flexions rotatoires ; peu après, toute la masse de la zoospore finit par s'échapper. Après un temps d'arrêt fort court, pour se reconstituer et reprendre sa forme première, elle agite soudain ses deux cils et se déplace rapidement dans le liquide. Il est bon d'ajouter ici que les dernières zoospores nous ont, en général, paru sortir un peu plus facilement que les premières.

Après avoir nagé quelque temps (trente à quarante minutes) dans le liquide, ces zoospores deviennent sphéroïdales, s'arrêtent, perdent leurs cils, se revêtent d'une membrane propre et germent. Le filament qu'elles émettent est d'abord simple, puis rameux : on voit peu à peu tout le plasma de la sphère y passer, et suivre insensiblement l'élongation du tube germinatif en se portant toujours à son extrémité.

Toutefois, dans nos préparations, un grand nombre de zoospores se décomposent sans germer, en augmentant d'abord notablement de volume, puis en se résolvant en masses informes de plasma granuleux. Mais cela pouvait participer de la maturité incomplète des conidies, récoltées trop hâtivement pour l'étude : aussi ne doit-on, selon nous, considérer ce fait que comme tout à fait anormal. Nous en dirons autant des monstruosités diverses que nous ont parfois offertes certaines zoospores : ainsi, la réunion de deux d'entre elles par la soudure fortuite de leurs cils postérieurs ; l'agglutination de la masse de 4-5 zoospores, le tout accompagné en général d'un ralentissement notable dans leur mouvement. Faits qui s'expliquent fort bien, parce que l'*Erigeron canadense* a besoin pour végéter d'une température humide d'au moins 10-15 degrés, et qu'il est nécessaire, pour l'étude, de le conserver pendant l'hiver, soit en serre, soit sous cloche. Ce moyen, simple et commode, et qui réussit fort bien, en accélérant la végétation de la plante nourricière, à activer concurremment le développement du parasite, ne semble pas réussir aussi bien à en maintenir l'énergie vitale. Il est à noter, du reste, que des pieds d'Erigeron très-attaqués, soumis à un

froid sec de + 5 à 10 degrés, ne présente plus au bout de quelques jours aucune trace de basides conidiophores. La récolte de la plante, pour l'étude de son parasite, sera donc plus ou moins favorisée, suivant que l'on prendra en considération le degré d'humidité des localités et la température de l'atmosphère. Ajoutons toutefois que des échantillons à peine soupçonnés, au moment de la récolte, d'être envahis par le parasite, dénotent rapidement la présence de ce dernier dès qu'on les maintient 2–3 jours dans un milieu convenable de chaleur et d'humidité.

Oogones; anthéridies; oospores. — Si l'on dissèque, sous le microscope, le parenchyme des feuilles qui ont cessé de porter des basides conidiophores et dont l'extrémité est atteinte d'une marcescence précoce, on ne tardera pas à rencontrer, surtout dans le voisinage des nervures principales, des sphérules jaunâtres, revêtues de 3-4 proéminences irrégulières et d'une épaisseur pariétale assez notable. Ce sont les *oospores*. Le tissu cellulaire très-serré et très-compacte de ce parenchyme ne permet pas, par malheur, d'arriver ici à une connaissance parfaite du sujet. Nous avons seulement pu remarquer que l'*oogone* est rempli d'un plasma assez épais et entouré de filaments anthéridiens, dont un surtout présente une extrémité notablement plus élargie au moment de la fécondation. L'oospore qui en résulte, finit par occuper toute la cavité de l'oogone, si bien que cette grande cellule ne se discerne que difficilement sur les oospores arrivées à leur dernier degré de développement. A ce moment, celles-ci présentent une teinte jaunâtre très-franche, et leur intérieur ne paraît rempli que par un fluide à peine granuleux, au centre duquel se montre un nucléole un peu plus clair. Du reste, le rôle ultérieur de ces oospores nous est encore totalement inconnu.

Étude systématique. — Il est à remarquer que ce qui, chez les Saprolégniées, semble déjà comparativement présenter des différences caractéristiques de première valeur, c'est le zoosporange et le mode d'émission des zoospores. Or, d'après nos connais-

sances actuelles, un caractère de premier ordre s'offre de même, avant tous autres, pour établir des limites distinctes entre les genres des Péronosporées. C'est l'appareil conidiophore. Il est notable, en effet, que tous les *Cystopus* présentent une production conidiale moniliforme, alors que tous les *Peronospora* développent leurs conidies sur des stipes plus ou moins ramifiés. Seul donc jusqu'ici, notre *Basidiophora* fait connaître un nouveau mode d'évolution conidiale, au moyen de basides que nous avons décrites. Et si nous ajoutons, que la génération complète des zoospores s'y effectue dans l'intérieur même de la conidie, nous croyons avoir suffisamment justifié la manière de voir qui nous a portés à proposer l'établissement d'un genre nouveau dans l'intéressante famille des Péronosporées.

La diagnose suivante pourrait en résumer les caractères principaux :

BASIDIOPHORA.

Mycelium entophytum, septis destitutum. Stipites conidiophori, clavati, *basidia* simulantes, e foliorum stomatibus egredientes. Conidia ovata, papillata, in brevibus sterigmatibus evoluta, zoosporas agiles includentia. Zoosporæ globosæ, subreniformes, ciliis binis antero-posterioribus. Oogonia sphærica, in plantæ hospitalis parenchymate inclusa, post contactum antheridiorum oosporam solitariam episporio crasso cristato generantia.

B. entospora. — In foliis vivis radicalibus plantularum *Erigerontis canadensis* L., in terra sabulosa crescentis, parasitica. Haud rara, sed prætervisa : circa Lutetiam (*Joinville-le-Pont! Meudon! Bois de Boulogne! etc.*) prope *Châteauneuf-sur-Loire* (*Loiret*) ubi hieme 1868-69 primum invenitur.

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE 3.

Cystosiphon pythioides.

Fig. 1. Aspect d'une fronde de *Wolffia Michelii* Schleid. (*Lemna arrhiza* L.), dont plusieurs cellules de la périphérie contiennent des zoosporanges ; *a*, fronde-fille, présentant également des sporanges ; *x*, cicatricule de la fronde. 100/1.

Fig. 2. Cellules de la périphérie de la fronde, perforées par le mycélium du *Cystosiphon ;* ce mycélium offre deux zoosporanges en voie de formation. 350/1.

Fig. 3. Un zoosporange qui a émis un tube dont l'accroissement est arrêté par la paroi cellulaire. 600/1.

Fig. 4. Le même, un quart d'heure après. La paroi cellulaire est perforée.

Fig. 5. Le même, après vingt minutes. L'extrémité du tube s'est gonflée et sa membrane s'est un peu épaissie.

Fig. 6. Épanchement, dans l'eau, du plasma contenu dans le zoosporange, par l'extrémité du tube. 600/1.

Fig. 7. Le plasma entièrement épanché. 600/1.

Fig. 8. Quelques minutes plus tard : contraction et segmentation du plasma ; apparition de la vésicule-mère. 600/1.

Fig. 9. Cinq minutes après : oscillation de la masse dans cette vésicule ; la segmentation du plasma plus nette ; les cils plus visibles.

Fig. 10. La même, après cinq autres minutes. Les zoospores sont constituées.

Fig. 11. La même, trois minutes plus tard. Les zoospores se déplacent vivement dans cette vésicule.

Fig. 12. La même, deux minutes après : résorption de la paroi vésiculaire. Les zoospores s'échappent rapidement.

Fig. 13. Une zoospore inerte, devenue sphérique. 550/1.

Fig. 14. La même, quelques minutes plus tard : disparition des cils ; apparition de la membrane cellulaire. 550/1.

Fig. 15. Deux zoospores en germination. 550/1.

Fig. 16. Une zoospore, après trois heures de germination. 550/1.

Fig. 17. La même, après trente heures.

Fig. 18. Un filament du mycélium portant deux oogones en voie de formation ; *a*, moins développé que *b*, qui par une cloison basilaire s'est isolé du filament. 550/1.

Fig. 19. Anthéridie (*a*) et oogone (*b*) au moment de la fécondation. 550/1.

Fig. 20. Deux oogones et leurs anthéridies ; ces oogones, situés sur le même filament, contiennent des oospores à deux états différents : *a*, oospore dont l'épispore encore mince renferme des sphérules huileuses ; *b*, oospore complétement développée, vue suivant un plan visuel passant par le centre. 650/1.

Fig. 21. Aspect extérieur d'une oospore mûre dans son oogone, auquel adhère encore l'anthéridie. 650/1.

Fig. 22. Deux oospores dans leur oogone, vues sous le même grossissement. La moindre dimension de toutes les parties en dénote la variabilité.

PLANCHE 4.

Basidiophora entospora.

Fig. 1. *a*, stipe sorti par un stomate et présentant la formation des conidies; *b b*, deux stipes nés du même filament et dont le pied seulement est dessiné. 370/1.

Fig. 2. Stipe avec conidies, à l'état de maturité. 370/1.

Fig. 3. Stipe après la chute des conidies. 370/1.

Fig. 4. Conidie mûre, au moment de l'immersion dans l'eau. 550/1.

Fig. 5. La même, après une heure d'immersion. 550/1.

Fig. 6. La même, après une heure et demie d'immersion.

Fig. 7. La même, montrant la sortie des zoospores.

Fig. 8. Zoospores libres, nageant dans l'eau. 550/1.

Fig. 9. Les mêmes, lorsque le mouvement s'est ralenti. 550/1.

Fig. 10. Zoospores germant, au bout de seize heures. 550/1.

Fig. 11. Les mêmes, après deux jours et demi. 550/1.

Fig. 12. Anthéridie et oogone contenant l'oospore. 550/1.

SELONIA

LILIACEARUM gen. nov.

AUCTORE E. REGEL (1).

Perigonium inferum, sexpartitum, campanulatum v. deinde patens, persistens; phylla 3 exteriora sepaloidea, basi viridia, apice fuscescentia, subherbacea; phylla 3 interiora petaloidea, alba. Stamina 6, hypogyna. Filamenta filiformia, glabra, ante anthesin induplicata, demum elongata, exserta. Antheræ lineares, biloculares, paullo supra basin insertæ, basi emarginato-bilobæ. Ovarium subglobosum, 6–costatum, 3–loculare, loculis pluriovulatis. Stylus filiformis, post fecundationem erectus. Ovula in loculis 3-5, anatropa. — Herba perennis, foliis linearibus radicalibus carinatis, scapo aphyllo; flores racemosi. Affinis Eremuro, differt perigonii phyllis exterioribus subherbaceis sepaloideis, ovarii loculis 3-5–ovulatis, ovulis anatropis. — Dicavi clarissimo viro fautori protectorique scientiarum naturalium A. Selonoi.

Selonia soogdiana Rgl.

Folia omnia radicalia, ligulato-linearia, carinata, scapo breviora, utrinque minute denseque hirta, basi membranaceo-dilatata caulem amplectentia et ultra-longa, 1/10-3/10 poll. longa. Scapus teres, dense minuteque hirtus, aphyllus, florum racemo laxo circiter pedali terminato, infra racemum bracteis sterilibus sparsis vestitus. Flores laxe racemosi, sparsi. Pedunculi filiformes, subglabri, bracteas pluries superantes, patentes, initio recti, deinde apice cum flore plus minus recurvati. Bracteæ e basi latiore lanceolato-subulatæ, albo-membranaceæ, nervo medio fusco, margine piloso-villosæ. Flores erecti v. nutantes. Perigonium supra basin 6-partitum, initio campanulatum, deinde plus minus patens; sepalis tribus exterioribus calyciformibus, subherbaceis, ovato-oblongis, acutiusculis, nervo intermedio dorso subcarinatis, glabris, basi viridibus, apice fuscescentibus, petalis paullo brevioribus; sepalis tribus interioribus (petalis) ovato-ellipticis, 2/5 poll. longis, acutiusculis, undulatis, albis, nervo carinali fusco. Filamenta ante anthesin induplicata, deinde corollam superantia, fusca; antheræ fuscæ, polline luteo. — Hab. Turkestan.

(1) *Bull. Soc. imp. Mosc.*, p. 457. tab. 6, 1868.

ÉTUDES CHIMIQUES SUR LA VÉGÉTATION,

Par M. Jules RAULIN.

Si les organismes qui se forment dans les infusions de matières animales ou végétales excitent à un haut degré la curiosité des savants, ce n'est pas que ces petits êtres, dans le cercle étroit de leur vie rudimentaire, soient par eux-mêmes fort intéressants; c'est que leur développement se rattache, à un double point de vue, à la vie des êtres supérieurs.

D'une part, nous savons aujourd'hui que la vie de ces organismes infimes est liée nécessairement à ces transformations chimiques, variées à l'infini, que subissent les substances des végétaux et des animaux soustraites à l'action de la force vitale: c'est là une des lois fondamentales de la nature dont la découverte est due aux patientes et philosophiques études de M. Pasteur.

D'autre part, les êtres organisés les plus simples présentent, au point de vue chimique, des analogies fort remarquables avec les êtres vivants d'un ordre plus élevé, et contrairement à ces derniers, ils se prêtent avec une merveilleuse facilité aux investigations les plus délicates de la science; l'étude de ces petits êtres doit donc éclairer d'une vive lumière les questions les plus ardues de la physiologie générale: c'est là encore un côté nouveau de la science que M. Pasteur nous a révélé sans l'approfondir. Moi-même, désireux d'apporter quelques faits à l'appui de cette vue élevée, j'ai entrepris sur une Mucédinée spéciale les recherches chimiques qui font l'objet principal de ce Mémoire. Mais, afin de rattacher mes résultats aux lois générales de la *Chimie des végétaux*, j'ai exposé au point de vue des Méthodes l'ensemble des découvertes de cette science.

Ce Mémoire se divise en deux parties :

Première partie. Progrès de la *Chimie des végétaux* considérée sous le rapport des méthodes.

Deuxième partie. Recherches sur le *Développement d'une Mucédinée* dans un milieu artificiel.

PREMIÈRE PATRIE.

PROGRÈS DE LA CHIMIE DES VÉGÉTAUX CONSIDÉRÉE SOUS LE RAPPORT DES MÉTHODES.

Au point de vue chimique, je diviserai les végétaux en deux catégories : les *grands végétaux* et les *végétaux microscopiques.*

L'histoire de la chimie de ces êtres nous intéresse principalement au point de vue des Méthodes ; j'ai cru pouvoir réduire à trois toutes celles qui ont servi jusqu'à ce jour à traiter les questions de chimie physiologique :

La méthode analytique;

La méthode mixte;

La méthode synthétique.

Chacune de ces trois méthodes peut prétendre à résoudre avec des degrés de perfection divers tous les problèmes qui se rattachent à la chimie des végétaux ; mais chacune d'elles met en œuvre pour atteindre ce but des procédés différents.

La *méthode analytique* étudie les végétaux dans les conditions mêmes où la nature les a placés : elle demande à la composition chimique du sol, de l'atmosphère et des plantes le secret des phénomènes de la végétation; en un mot, elle a pour point de départ l'analyse chimique.

Dans la *méthode synthétique*, on remplace le terrain naturel par un sol artificiel formé de composés chimiques définis, appropriés aux besoins du végétal qui doit s'y développer. C'est en faisant varier une à une les circonstances qui peuvent influer sur la vé-

gétation, et en observant les effets qui en résultent, qu'on cherche à saisir tous les éléments du problème de la vie : la base de cette méthode, c'est la *synthèse*, qui doit incidemment s'aider de l'*analyse* comme d'un utile moyen de vérification.

La *méthode mixte* est intermédiaire entre les deux méthodes précédentes : on fait végéter la plante qu'on veut soumettre à l'étude dans un sol chimiquement identique avec les terrains naturels ; mais on dispose arbitrairement des circonstances secondaires de la végétation, telles que l'atmosphère, l'étendue du terrain, les substances chimiques qu'on peut y ajouter, les circonstances physiques, etc. : ici, l'observation et l'expérimentation se prêtent un mutuel appui.

Ces considérations déterminent l'ordre suivi dans la première partie de ce Mémoire : je passerai successivement en revue les travaux de chimie physiologique qui ont pour objet les *grands végétaux* et les *végétaux microscopiques*, et je les classerai d'après les méthodes scientifiques auxquelles ils appartiennent.

CHAPITRE PREMIER.

ÉTUDE DES GRANDS VÉGÉTAUX.

I. — Méthode analytique.

La méthode analytique repose essentiellement sur la composition chimique des végétaux et avant tout sur celle de l'atmosphère et du sol où les végétaux puisent leurs éléments.

Composition chimique de l'atmosphère et du sol. — J'ai à peine besoin de rappeler que l'atmosphère est formée principalement d'oxygène et d'azote mêlés à de petites quantités d'acide carbonique et de vapeur d'eau, et que les terrains arables contiennent, outre l'eau et les gaz de l'atmosphère, les oxydes minéraux suivants :

Acide sulfurique, acide phosphorique, acide chlorhydrique, silice ;

Potasse, soude, chaux, magnésie, alumine, oxyde de fer, oxyde de manganèse ;

Et, en outre, de l'acide nitrique et de l'ammoniaque, et des matières organiques azotées en voie de décomposition qui constituent l'humus.

D'autres faits réclament ici notre attention.

D'une part, l'air paraît contenir des traces à peine appréciables de tous les éléments du sol, car on est parvenu à y découvrir :

L'ammoniaque, l'acide nitrique, un composé carboné et hydrogéné, des corpuscules organisés, des poussières diverses, un composé phosphoré, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, la soude, la potasse, la chaux, la magnésie.

D'autre part, le sol arable renferme, en petites quantités, la plupart des corps simples connus ; il n'en est guère même, parmi les plus rares, qu'on y ait cherchés en vain par des procédés suffisamment précis. On a trouvé dans l'eau de mer l'iode et le brôme. MM. Malaguti, Durocher et Sarzeaud ont isolé l'argent de l'eau de mer (1), M. Grandeau le rubidium des eaux de source (2). D'où viendraient ces éléments, sinon des terrains que ces eaux ont traversés? Au reste, c'est presque toujours dans les eaux naturelles qui ont traversé le sol ou l'atmosphère, et non dans ces milieux eux-mêmes, qu'on a recherché ces éléments que je viens de signaler ; c'est là un procédé indirect d'une sensibilité pour ainsi dire indéfinie.

Au point de vue physiologique, il n'est pas permis de négliger ces corps simples dont il n'existe que des traces dans les milieux ambiants, et dont on peut ne pas tenir compte dans les réactions de la chimie minérale ; en effet, grâce à l'étendue illimitée de ces milieux, à la mobilité de leurs parties, à la durée de la vie des végétaux, les quantités les plus insaisissables d'un élément de l'air ou du sol peuvent, en s'accumulant, produire sur les végétaux des effets appréciables.

Le sol et l'atmosphère sont trop complexes pour qu'on puisse suivre directement toutes les transformations chimiques de leurs

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXVIII, p. 129, et *Ann. sc. nat.*, 4e série, vol. IX, p. 222.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LX, p. 479.

éléments, transformations qui se rattachent à l'étude chimique de la végétation. Aussi, dans bien des cas, a-t-on eu recours à une méthode indirecte, qui consiste à mettre en présence quelques-uns des composés des milieux ambiants, à en étudier les réactions, pour les appliquer ensuite aux phénomènes de la nature. C'est dans cette vue que M. Kuhlmann, en 1838 (1), rechercha les conditions de la transformation de l'acide nitrique en ammoniaque, et de l'ammoniaque en acide nitrique; que M. P. Thenard, en 1857 (2), examina les circonstances de la production et de la décomposition de l'acide fumique; que M. Thenard et M. Dehérain (3) étudièrent la solubilité des phosphates en présence des éléments minéraux du sol. Cette méthode peut certainement jeter quelque lumière sur les réactions multiples du sol et de l'atmosphère; mais les conséquences auxquelles elle conduit ne reposant que sur des analogies lointaines, doivent toujours, pour être admises définitivement, être assujetties à de nombreuses vérifications.

Composition élémentaire des végétaux. — La connaissance de la constitution chimique des végétaux est liée aux progrès de l'analyse élémentaire. Tant qu'on chercha dans la distillation en vases clos le secret de la composition des corps organisés, on n'obtint que des résultats variables et complexes. Mais lorsque Lavoisier eut substitué à ce procédé celui de la combustion des matières organiques, lorsqu'il eut fixé la composition de l'eau et de l'acide carbonique, produits de cette combustion, la substance de tous les végétaux apparut comme un composé de trois éléments : carbone, hydrogène, oxygène. Bientôt Th. de Saussure retira de l'azote de plusieurs substances végétales: il émit l'opinion que ce corps simple existe en petite quantité dans tous les organes des végétaux, opinion confirmée par les analyses de Gay-Lussac, de MM. Boussingault et Payen, etc.

Les cendres que les végétaux laissent toujours en brûlant en

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIII, p. 1033.

(2) *Comptes rendus*, t. XLIV et suivants.

(3) *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*. Paris, 1862, et *Comptes rendus* 1858, t. XLVII, p. 988.

faible proportion ont été l'objet de nombreuses analyses ; on y rencontre normalement : l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, la silice ; la potasse, la soude, la magnésie, la chaux, l'oxyde de fer, l'oxyde de manganèse.

Mais ce qu'il faut remarquer de préférence, c'est que les cendres des végétaux doivent contenir des traces de tous les éléments du sol même les plus rares ; car les varechs fournissent à l'industrie l'iode et le brome ; Meissner a trouvé du cuivre, M. Grandeau du rubidium dans certains végétaux. MM. Malaguti, Durocher et Sarzeaud ont décelé des traces d'argent dans les fucus ; MM. Bunsen et Kirchoff des traces de lithium dans la vigne et le tabac, etc.

Malgré cette complication apparente, les matières minérales des végétaux sont soumises à des lois fort remarquables.

Th. de Saussure (1) constata par l'expérience que la proportion de cendres contenue dans un même poids d'un végétal à l'état sec, augmente avec la richesse d'un terrain en matières salines ; qu'elle croît dans un même organe jusqu'au moment où la séve cesse d'y circuler ; qu'elle est plus forte dans les organes ou les végétaux herbacés que dans les parties ligneuses, résultats déjà entrevus par Perthuis en 1797 (2). Il présenta ces faits comme des résultats de la dissolution des sels dans les liquides, du mouvement des liquides dans le végétal, et de l'évaporation qui se produit à la surface. C'était reconnaître l'*influence prédominante de la nature physique des corps en présence sur l'absorption des sels par les végétaux* (3).

Berthier, vers 1826, reconnut que les cendres de bois de même espèce sont chimiquement semblables dans des terrains identiques ; mais que les cendres de diverses espèces de bois dans ces conditions diffèrent par les proportions de leurs éléments : *c'é-*

(1) *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 272.

(2) *Annales de chimie*, t. XIX, p. 157.

(3) M. Dehérain a précisé ces résultats en montrant que la composition des cendres des végétaux s'explique parfaitement par les lois de l'évaporation des liquides, et celles de la diffusion des éléments minéraux en tenant compte de leur état de combinaisons dans l'organisme (*Annales des sciences naturelles*, 1867).

tait mettre hors de doute l'influence de l'espèce naturelle du végétal sur la composition des matières minérales qu'il renferme (1).

En 1858, MM. Malaguti et Durocher recherchèrent comment les éléments inorganiques sont distribués dans les principales familles du règne végétal (2) : les proportions de chlore, de soufre, de sodium, de calcium, furent très-variables; tandis que le phosphore, le potassium, le magnésium, se montrèrent plus constants, soit dans les diverses familles du règne végétal, soit principalement dans une même famille; résultats conformes à ceux qu'a obtenus M. Péligot sur la répartition de la potasse et de la soude dans divers végétaux (3). Le travail de MM. Malaguti et Durocher se distingue par le soin que prirent ces deux observateurs de ne comparer que des végétaux de même nature physique, herbacés ou ligneux, dans des terrains analogues non modifiés par la culture.

On a également suivi la distribution des principes minéraux dans les organes d'une même plante. M. Payen, en 1837, vit l'azote s'accumuler dans les plus jeunes organes, dans les graines principalement. M. Boussingault remarqua que les matières végétales les plus azotées sont généralement plus riches en phosphore, observation que M. Corenwinder rendit plus nette en montrant que l'azote et le phosphore varient dans le même sens d'un organe à un autre. Mayer (4) précisa les relations de ces deux corps simples en prouvant que dans les graines d'une même espèce de plante, le rapport de l'azote au phosphore reste constant, tandis qu'il peut varier d'une espèce à une autre si la nature de la matière protéique vient à changer. M. Peligot constata que la magnésie avec l'azote et le phosphore s'accumule dans les graines de préférence à la chaux. Enfin, M. I. Pierre (5), dans ses intéressantes recherches sur le blé, généralisa et

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXII, p. 240, 1826.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LIV, p. 257.

(3) *Ann. sc. nat.*, 5e série, t. VIII, p. 245.

(4) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. L, p. 185.

(5) I. Pierre, *Recherches expérimentales sur le développement du blé et sur la répartition dans ses différentes parties des éléments qui le constituent à diverses époques de sa végétation*, 1866.

étendit ces résultats : il reconnut que l'azote, le phosphore, le potassium et même le magnésium contenus dans un certain poids de matière sèche diminuent en général avec l'âge dans un même organe, et vont en augmentant des organes inférieurs vers les organes supérieurs, principalement vers les graines; tandis que le calcium, le fer, le silicium, le sodium, s'écartent de plus en plus de cette loi.

Le sens des résultats de MM. Malaguti et Durocher, Payen, Boussingault, Peligot, I. Pierre, paraît être celui-ci : l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium, s'accumulent avec une constance et une intensité remarquables dans les organes des plantes, surtout dans ceux où l'activité vitale prédomine ; le fer, le calcium, le sodium, le silicium, le soufre, le chlore, sont absorbés avec moins de force : on *voit donc intervenir ici dans la composition des cendres des végétaux l'influence de la nature chimique des éléments qui les composent.*

Principes immédiats des végétaux. — Parmi les composés définis que forment les éléments simples des végétaux, se placent au premier rang les composés ternaires qui constituent presque toute la masse des organes. Ceux de ces composés qui sont généralement répandus dans l'organisme des végétaux se divisent en trois classes : les substances neutres dont la composition peut être représentée par du carbone uni à de l'eau, telles que la cellulose, l'amidon, la dextrine, les sucres, etc. ; les acides qui contiennent en général du carbone, de l'eau et un excès d'oxygène, et qui sont ordinairement unis à des bases minérales, potasse, soude, chaux, etc., tels sont l'acide tartrique, l'acide citrique, l'acide malique, l'acide pectique, l'acide oxalique, etc. ; enfin les corps gras composés de carbone, d'eau et d'hydrogène en excès, principes très-abondants dans les graines oléagineuses, et dont MM. Dumas, Boussingault, Payen, ont démontré la présence en petite quantité dans tous les végétaux.

Parmi les composés quaternaires formés de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, nous nous bornerons à signaler la chlorophylle dont le rôle est si important, et les principes albu-

minoïdes qui sont répandus dans tout l'organisme des végétaux, et que MM. Liebig et Mulder regardent comme ayant pour base un même principe, la protéine, unie à de faibles proportions de phosphore et de soufre.

Parmi les recherches qui se rattachent à l'étude de la transformation des principes immédiats des végétaux les uns dans les autres, on peut citer : les observations de Bérard (1), de Corenwinder, de MM. Fremy, Buignet, Berthelot, sur les métamorphoses des principes sucrés, le travail de M. Fremy sur les substances pectiques, etc. Le procédé que l'on a généralement suivi dans ces sortes de recherches consiste à étudier les variations quantitatives que subissent avec le temps les principes immédiats d'un organe et à les comparer entre elles. Par exemple, si l'on voit deux composés varier constamment en sens inverse, il devient probable qu'ils se transforment l'un dans l'autre. Mais il est difficile de tenir compte de toutes les substances, souvent fort nombreuses, d'un même organe ; en outre les éléments qui passent continuellement d'un organe à un autre, de celui-ci au milieu ambiant ou inversement, échappent en partie à l'analyse. Aussi ce procédé, très-commode dans les cas simples, ne conduit plus dans les cas compliqués qu'à des conclusions probables, non certaines, à des résultats particuliers qu'on ne peut généraliser.

Pour connaître la nature des réactions d'où résultent ces transformations, on cherche à les produire artificiellement par le mélange de quelques-uns des principes immédiats qui sont en contact dans le végétal. C'est ainsi qu'on a reconnu le rôle de la diastase dans la transformation de l'amidon en sucre, de la pectase dans les métamorphoses des principes pectiques, etc. Mais ce procédé, efficace dans les cas simples, devient beaucoup plus incertain dans les cas compliqués, parce qu'il ne repose que sur des analogies incomplètes.

Le terme de ces études sera atteint lorsqu'on aura déterminé les transformations des principes immédiats des végétaux, non pas dans une partie plus ou moins étendue du végétal, mais dans

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XV p. 225, 1821.

chacun de ses organes élémentaires : le procédé est encore celui dont je viens de parler, mais aidé par l'emploi simultané du microscope et des réactifs chimiques. Ce procédé est soumis aux restrictions générales que j'ai indiquées, mais il acquiert de nouvelles ressources pour pénétrer dans le mécanisme interne des phénomènes physiologiques. M. Payen en a obtenu des résultats inespérés dans une série de recherches analytiques commencées vers 1836 (1). Les propriétés de l'amidon, celles de la cellulose, qui est la base de tous les organes, la transformation des composés ternaires solubles en matière organisée sous l'influence de la matière azotée, l'étude des cristaux des feuilles, la constitution des fibres du bois, et comme conséquence pratique, l'explication des propriétés utiles des bois et des fibres textiles : tels sont les principaux objets des recherches de M. Payen qui prouvent la fécondité d'une méthode à laquelle la physiologie doit bien d'autres découvertes (2).

Parmi de nombreuses recherches analytiques d'un mérite incontestable, je n'ai effleuré que celles qui se rattachent directement au problème principal que j'avais en vue : déterminer la part exacte que prend au développement d'un végétal chacun des éléments chimiques qui l'entourent.

Des corps simples essentiels à la formation des végétaux. — Dans ce but on doit rechercher avant tout quels sont les corps simples utiles ou nécessaires à la formation d'un végétal. Ce serait une erreur de croire que ces éléments ne sont autres que ceux mêmes dont l'analyse révèle l'existence dans le végétal ; car un élément peut servir à transformer certaines substances de l'air ou du sol dans un sens favorable à la vie de ce végétal, sans que cette propriété soit en relation avec l'absorption de cet élément

(1) *Comptes rendus*, 1836, t. III et suivants. Voyez aussi les *Annales des sciences naturelles*, 2ᵉ série, t. X, p. 5, 65, 161, et t. XI, p. 21.

(2) On peut citer encore dans cet ordre d'études : les recherches de M. Fremy sur la composition des cellules végétales (*Annales des sciences naturelles*, 4ᵉ série, t. XII, p. 320).

par l'organisme, et inversement un corps simple peut être absorbé par un végétal sans lui être utile, puisque les plantes, nous l'avons vu, absorbent à peu près toutes les substances solubles qui les entourent. Cependant l'analyse du végétal peut nous éclairer sur cette question. Ainsi personne ne conteste la nécessité du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène dans l'acte de la végétation, parce que l'organisme est presque entièrement formé des composés de ces corps. L'azote, parce qu'il entre en proportions définies dans les substances albuminoïdes répandues dans toutes les parties du végétal, surtout dans les organes en voie de formation, peut être regardé comme un élément essentiel à la vie. Mais l'analyse ne prouve pas absolument que l'albumine, dont la proportion est toujours assez faible, soit indispensable à la formation des végétaux.

Cette remarque s'applique à plus forte raison au phosphore et au soufre combinés, peut-être même mélangés en petite proportion aux matières protéiques. L'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium, nous l'avons vu, cheminent ensemble avec plus d'activité que les autres corps simples vers les organes essentiels à la vie; indice sérieux de l'importance physiologique de ces éléments. Cependant ce phénomène est peut-être le résultat naturel de quelque propriété physique ou chimique des composés de ces éléments tout à fait indépendante de leur action sur le végétal. M. Liebig (1) regarde les alcalis et les terres comme indispensables pour neutraliser les acides organiques du végétal, et comme capables de se substituer les uns aux autres. Mais ces acides eux-mêmes sont-ils nécessaires à la vie? En l'absence des bases ne seraient-ils pas remplacés naturellement par d'autres produits neutres sans que la vie en fût troublée? Au reste, l'expérience directe n'est pas favorable à l'hypothèse de M. Liebig. On peut encore tirer de curieuses inductions de la composition des terrains qui ont une flore spéciale. Si les varechs ne se rencontrent que dans la mer, n'est-ce pas parce qu'ils

(1) Liebig, *Chimie organique appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture*, p. 95 et suivantes.

ont besoin de sodium? Si, comme l'a remarqué M. Unger, la flore naturelle dans une même contrée change lorsqu'on passe d'un terrain calcaire à des terrains qui ont pour base le gypse ou l'argile, peut-être faut-il attribuer ce fait à la préférence de certaines espèces pour le calcium, le soufre, le silicium ou l'aluminium. Mais on ne saurait affirmer sûrement que cette influence des terrains est due aux éléments que j'ai signalés, plutôt qu'à tant d'autres circonstances qui peuvent nous échapper. Au reste, à toutes ces preuves en faveur de l'utilité de certains éléments minéraux dans l'acte de la végétation, on peut objecter qu'il est singulier que ces éléments, s'ils sont réellement utiles, se rencontrent dans les végétaux en aussi faibles proportions.

De l'origine des corps simples essentiels aux végétaux. — Il est très-important de connaître les composés de l'air et du sol qui fournissent les corps simples essentiels aux végétaux. Avant qu'on eût acquis des idées exactes sur la composition des minéraux, des chimistes soutinrent que tous les principes des végétaux, même les cendres, se forment sous l'influence de la vie à même la substance de l'air et de l'eau : l'abondance dans certaines plantes de la silice, dont les composés naturels sont ordinairement peu solubles, servait de fondement à cette opinion. Lorsque les découvertes de la chimie minérale eurent mis à néant cette fiction et démontré que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, constituent presque toute la masse des végétaux, on rechercha avec empressement l'origine de ces éléments. Les uns pensaient que l'humus les cède directement aux plantes. Tillet, Parmentier, etc. (1), s'appuyant sur la faible solubilité des matières des sols fertiles, attribuaient à l'air et à l'eau l'origine de ces trois éléments. M. Liebig (2) s'appuya sur des chiffres pour prouver que la partie soluble de l'humus ne suffit pas à produire toute la matière organique des récoltes et affirma qu'une portion des

(1) *Annales de chimie*, 1791, t. XI, p. 278.

(2) Liebig, *Chimie organique appliquée, etc.*, p. 10.

composés ternaires des végétaux tirent leurs éléments de l'acide carbonique et de l'eau. M. Liebig (1) a également calculé que les végétaux contiennent plus d'azote que le sol ne leur en fournit, et il en a conclu qu'une portion de l'azote des végétaux est puisée dans l'air. M. G. Ville (2) a même établi par des nombres que l'azote des récoltes surpasse celui qu'elles tirent du sol et celui des composés azotés de l'air, et que par conséquent une partie de l'azote des végétaux vient de l'azote libre de l'atmosphère.

Les preuves analytiques sur lesquelles s'appuient ces assertions manquent de solidité : souvent on s'est contenté de rassembler quelques nombres pris dans les expériences les plus hétérogènes, pour en composer une expérience fictive sur les conclusions de laquelle il est certainement permis de conserver plus d'un doute. En outre il est bien difficile d'apprécier ce que peut emprunter un végétal à tel ou tel composé du milieu ambiant, à cause de l'étendue illimitée de ce milieu, de la mobilité de ses éléments et des réactions qui s'y accomplissent continuellement. Ces considérations s'appliquent sans restriction à l'origine des principes minéraux des plantes. MM. Thenard et G. Ville ont cependant fondé sur l'analyse deux classifications des éléments du sol qui paraissent donner la solution du problème qui nous occupe. M. P. Thenard distingue dans le sol : les agents assimilables, les agents conservateurs, les agents assimilateurs (3). M. G. Ville divise les éléments du sol en éléments mécaniques, éléments assimilables actifs, éléments assimilables en réserve (4).

Quels sont donc les principes que MM. Thenard et Ville appellent assimilables? Ce sont ceux qui contiennent des corps simples dont l'analyse a décelé l'existence dans les végétaux, et qui peuvent dans des circonstances convenables devenir solubles. Or ces conditions sont, nous l'avons démontré, insuffisantes pour établir que ces principes participent activement au développement des végétaux.

(1) Liebig, *Ibid.*, p. 72 et suivantes.
(2) *Comptes rendus*, t. XXXVIII, p. 705.
(3) *Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 385.
(4) *Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 589.

Du rôle des corps simples qui interviennent utilement dans la végétation. — Pour déterminer le rôle de chacun des corps simples dont nous avons parlé dans le développement d'un végétal, il faut suivre toutes les transformations chimiques que subissent ces éléments depuis les composés du sol et de l'air qui les fournissent jusqu'à ceux qu'ils forment définitivement dans le végétal ou en dehors de lui.

Nous l'avons vu, l'analyse est parvenue à saisir des traces extrêmement petites des composés sans nombre qui constituent le sol et l'atmosphère. Elle peut nous éclairer sur quelques-unes des transformations de ces substances, mais elle ne nous a pas offert de procédé général qui puisse sûrement nous en révéler toutes les modifications. A plus forte raison, la transformation des composés de l'air et du sol en principes immédiats des végétaux échappe généralement aux procédés analytiques; mais ce que l'analyse saisit avec sûreté jusque dans les nuances les plus délicates, ce sont ces principes immédiats eux-mêmes: c'est ainsi qu'elle nous apprend que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, forment les composés les plus divers qui constituent presque toute la masse des végétaux; que l'azote entre dans les composés quaternaires dont les proportions sont assez minimes, bien qu'ils ne manquent jamais dans l'organisme; qu'enfin certains éléments minéraux paraissent appartenir à des composés des végétaux dont la nature et le rôle sont moins bien déterminés. L'analyse a abordé dans des cas particuliers le problème de la transformation de ces principes immédiats les uns dans les autres dans les diverses parties du végétal, sans conduire par une voie sûre à une solution générale et complète du problème qu'elle ne comporte pas. Elle a recherché également dans beaucoup de cas ces transformations dans les organes élémentaires, et a ainsi déterminé la part que prennent les principes immédiats les plus essentiels au développement de ces organes. Elle a suivi la transformation des composés ternaires solubles dans les principes qui constituent les cellules simples ou modifiées, l'intervention de la matière azotée et peut-être aussi de certains principes minéraux dans la formation des

organes nouveaux; en un mot, elle a déjà fait apparaître en partie le mécanisme de l'organisation de la matière.

Résultats généraux de la méthode. — Il suffit de jeter un coup d'œil sur l'ensemble des faits qui précèdent pour se convaincre que la méthode analytique a produit ses principales découvertes dans les quarante années qui suivirent l'époque de Lavoisier, époque des découvertes fondamentales de la chimie minérale.

Cette méthode a démontré que les végétaux exigent pour se développer un certain nombre de corps simples qui sont principalement le carbone, l'hydrogène, l'oxygène; très-probablement l'azote en faible quantité; que de très-petites proportions de phosphore, de soufre, de potassium, de magnésium, etc., sont peut-être également utiles à l'organisation de la matière.

Sans déterminer complétement le rôle de chacun de ces éléments dans le développement des végétaux, l'analyse nous a fait connaître les combinaisons diverses du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène qui constituent presque toute la masse des végétaux; elle en a suivi les transformations jusque dans les organes élémentaires dont elles fournissent les matériaux; elle nous a appris que les matières azotées président partout à la formation des organes; qu'enfin les éléments minéraux appartiennent peut-être à des composés indéterminés, utiles au développement de ces organes.

D'ailleurs cette méthode n'a pu établir que des hypothèses sans preuves réelles sur l'origine de ces éléments.

Si donc la méthode analytique nous a révélé un certain nombre de faits intéressants sur la constitution des végétaux, elle paraît par elle-même tout à fait insuffisante à fonder une théorie chimique de la végétation.

II. — Méthode mixte.

A la méthode mixte se rattachent toutes les expériences de chimie végétale dans lesquelles on s'est servi d'un sol naturel tout en disposant arbitrairement de quelques-unes des circonstances essentielles de la végétation.

De l'influence favorable de certains composés définis sur la végétation.—J'examinerai principalement l'influence qu'exercent sur la végétation certaines substances chimiques définies lorsqu'on les ajoute au terrain : c'est de toutes les questions traitées par la méthode mixte la plus intéressante.

Le nombre des essais isolés qui ont été faits dans cette direction est considérable, je n'en citerai que quelques-uns : Davy trouva que la magnésie est tantôt utile, tantôt funeste aux végétaux. Digby, en ajoutant du nitre au terrain, obtint une belle récolte d'orge. Home remarqua les bons effets du sulfate de potasse sur certains végétaux. Einhoff vit l'acide nitrique étendu donner de la vigueur à un champ de luzerne; il n'obtint aucun résultat de l'acide sulfurique et de quelques oxydes métalliques que de Humboldt avait indiqués comme utiles à la végétation (1). M. Bouchardat vit les sels ammoniacaux rester inactifs sur des Pommes de terre plantées dans une terre fertile (2). Eusèbe Gris fit reverdir des plantes chlorosées à l'aide du sulfate de fer (3), etc., etc. Ces faits épars, souvent contradictoires, observés dans des conditions mal déterminées, sans mesures numériques, sans termes de comparaison, ne présentent au point de vue scientifique qu'un médiocre intérêt. En voici la raison : l'effet d'un sel sur une culture peut dépendre non-seulement de la nature du sel, mais aussi de la quantité de sel employé, de l'espèce du végétal, de la constitution du sol, etc.; c'est-à-dire qu'il peut être très-variable, et qu'on ne saurait tirer d'essais sans suites aucune conclusion générale.

Des expériences conduites avec méthode offrent seules un intérêt réel; Davy en avait compris toute la portée; mais ses résultats ne peuvent qu'en faire ressortir les difficultés (4). En 1807 il essaya sur diverses cultures plusieurs sels de potasse et d'ammoniaque : les sulfates et les azotates furent à peu près inactifs; les acétates et principalement les carbonates donnèrent

(1) Davy, *Éléments de chimie appliquée à l'agriculture*, p. 319, etc.

(2) *Comptes rendus*, t. XXI, p. 636.

(3) *Comptes rendus*, t. XIX, p. 1118.

(4) Davy, *Éléments de chimie appliquée à l'agriculture*, p. 350.

à la végétation plus de vigueur. Comment interpréter ces résultats? Devait-on attribuer les bons effets des acétates et des carbonates à la tendance alcaline de ces composés, et l'inactivité des nitrates et des sulfates à l'état neutre de ces sels? Ou bien devait-on croire que la potasse et l'ammoniaque exercent sur la végétation une influence favorable qui appartient en propre à leurs éléments, et que l'action corrosive de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique peut contre-balancer? Évidemment le côté important du problème restait dans l'ombre.

Aussi, si les expériences que je vais rapporter ont enrichi la science de résultats concordants, décisifs, le mérite en revient aux expérimentateurs qui n'ont rien épargné pour se mettre à l'abri des nombreuses causes d'erreur inhérentes au procédé lui-même : ils ont choisi des parcelles de terrain de nature semblable et ménagé çà et là des parcelles sans engrais destinées à servir de termes de comparaison; ils ont pesé les substances ajoutées au sol et les récoltes; ils ont multiplié les essais en les variant.

Les premières recherches de ce genre qui conduisirent à des résultats définitifs sont dus à M. Kuhlmann (1). Dans une série d'expériences commencées en 1841 et poursuivies pendant plusieurs années, il essaya sur des parcelles égales de prairies naturelles les composés suivants employés à égales quantités d'azote : chlorhydrate d'ammoniaque, sulfate d'ammoniaque, nitrate de soude, nitrate de chaux, eau ammoniacale des usines à gaz, gélatine, gluten.

Toutes ces substances accrurent notablement le poids des récoltes, résultat qui ne pouvait être attribué qu'à l'*azote*, élément commun à tous ces composés d'ailleurs si différents : au reste, les effets incomparablement moindres, produits par des sels ou des substances organiques sans azote levèrent toute incertitude à cet égard.

En 1843, M. Schattenmann compléta ces études en appliquant

(1) *Comptes rendus*, 1843, t. XVII, p. 1118.

les sels ammoniacaux en proportions diverses aux principales cultures agricoles (1).

En Angleterre, à partir de 1842, Lintoch, Fleming, Main et d'autres expérimentateurs essayèrent les effets des sels ammoniacaux et des nitrates sur le Blé, l'Avoine, le Turneps, et ils obtinrent généralement des résultats conformes aux précédents (2).

Divers expérimentateurs ont constaté que certains sels minéraux exercent sur les cultures agricoles une influence moindre que celle des matières azotées, mais très-appréciable.

Dès 1843, M. Lawes, en Angleterre, étudia l'action des phosphates, principalement du phosphate de chaux sous diverses formes, sur la culture du Blé, du Turneps, etc., et il obtint par l'addition de ces sels, seuls ou avec un engrais azoté, des excédants de récoltes fort appréciables. En 1845 et 1846, M. Kuhlmann constata que les phosphates exercent des effets de même ordre sur les prairies naturelles (3) : et, en 1852, M. Chatin reconnut que l'acide phosphorique se place au premier rang des oxydes utiles à la culture des Pommes de terre.

M. I. Pierre (4), de 1850 à 1852, démontra l'efficacité de l'acide sulfurique dans la végétation des légumineuses par des essais comparatifs avec des sulfates à bases diverses.

M. Chatin, dans des essais qu'il fit en 1852 sur les Pommes de terre, distingua la potasse et la chaux comme les plus efficaces des bases minérales (5).

MM. Lawes et Gilbert ont repris tous ces essais en commun sur une vaste échelle; ils ont appliqué à diverses cultures différents sels, seuls ou mélangés, et ils ont principalement envisagé les résultats dans leurs rapports avec la pratique.

Application de la méthode mixte. — Parmi les applications de la méthode mixte, on doit citer en première ligne l'usage des

(1) *Comptes rendus*, 1843, t. XVII, p. 1128.
(2) *Experimental agriculture, etc.*, by James F. W. Johnston.
(3) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XX, p. 265, 1847.
(4) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXXVI, p. 61, 1852.
(5) *Comptes rendus*, t. XXXV, p. 786, 1852.

amendements, des engrais, des assolements, qui constituent la partie chimique de la pratique agricole : car ce sont là autant d'influences sur le développement des végétaux dans un sol naturel dont le praticien dispose à son gré. Par les engrais, par les amendements, il augmente les récoltes en ajoutant au sol, soit des matières d'origine animale ou végétale, soit des substances minérales telles que les cendres des végétaux, la chaux, la craie, l'argile, la poudre d'os, le plâtre, etc. Par les assolements, il fait un choix convenable des espèces qui doivent se succéder sur une même terre afin d'utiliser le plus fructueusement tous les principes fertilisants des engrais.

Tant qu'on a cherché l'explication de l'influence sur la végétation des amendements, des engrais, des assolements dans les faits pratiques ou les résultats de l'analyse, on n'a inventé que des hypothèses plus ou moins vraisemblables, sans fonder une théorie certaine et complète.

Que d'opinions n'a-t-on pas émises sur le mode d'action des amendements? Prenons le plâtre pour exemple et laissons de côté les idées anciennes qui n'ont plus cours dans la science. Devons-nous croire avec M. Liebig que le plâtre ait pour objet la fixation des sels ammoniacaux (1) ou avec M. Dehérain qu'il serve à rendre la potasse du sol plus soluble, par suite plus assimilable (2)? On bien faut-il nous ranger à l'opinion de Davy qui pensait que le plâtre entre par ses éléments dans la constitution des végétaux. Mais alors est-ce le soufre, le calcium ou bien l'un et l'autre qu'il faut considérer comme essentiels? Toutes ces hypothèses sont possibles parce qu'elles reposent sur des faits réels; mais aucune d'elles n'est véritablement démontrée.

Les engrais organiques donnent lieu à des remarques analogues. Parmentier ne leur attribuait que le rôle de condenser les éléments de l'air et de l'eau nécessaires à la végétation. Davy (3) pensait qu'ils fournissent aux végétaux les éléments de leur

(1) Liebig, *Chimie organique, etc.*, p. 88.

(2) *Annales des sciences naturelles*, 4e série, 1862, et *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, 1865.

(3) Davy, *Éléments de chimie appliquée à l'agriculture.*

propre substance. M. Liebig posait en principe que les éléments minéraux du fumier sont les seuls qui aient une importance capitale (1). M. Boussingault contribua puissamment à faire triompher cette opinion, que, dans les engrais, l'azote doit être estimé en première ligne, principalement l'azote à l'état d'ammoniaque, et que les substances minérales phosphatées ont une moindre importance.

Ce principe s'appuyait à l'origine sur les observations d'Hermbstœd qui démontra que les engrais les plus azotés donnent les céréales les plus riches en gluten; sur celles de Thaer qui indiqua les engrais les plus azotés comme les plus actifs, et sur celles de Davy qui remarqua que les engrais très-chargés d'ammoniaque impriment à la végétation une vigueur extraordinaire

Ces faits prouvaient simplement que le dosage de l'azote, principalement à l'état d'ammoniaque, donne en général la mesure de la valeur agricole d'un engrais. Mais ils pouvaient fort bien s'expliquer par l'action de quelque composé en relation constante dans les engrais avec la matière azotée. Ainsi ils ne démontraient pas l'efficacité des composés de l'azote, en particulier de l'ammoniaque sur la végétation, ils la faisaient seulement pressentir. Ils ne constituaient donc pas la base d'une théorie.

J'en dirai autant des assolements dont l'usage repose sur ce fait d'observation : une terre qui a fourni une ample moisson d'un végétal pourra être épuisée pour ce végétal, et donner cependant une abondante récolte d'une autre espèce convenablement choisie. Davy expliquait ce remarquable phénomène par la diversité des éléments que des plantes d'espèces différentes empruntent aux engrais, tandis que M. Liebig l'attribuait aux éléments minéraux du sol que les plantes absorbent inégalement (2); M. Boussingault à l'azote, que certains végétaux empruntent au sol, d'autres à l'atmosphère (3). Ces diverses opinions s'appuyaient sur des faits réels; mais il eût fallu démontrer qu'ils étaient en relation avec le phénomène observé.

(1) Liebig, *Chimie organique appliquée, etc.*, p. 94 et suivantes.

(2) Liebig, *Chimie appliquée*, p. 161.

(3) *Annales de chimie et de physique*, 1841, t. I, p. 208.

La méthode mixte nous découvre la marche à suivre pour décider entre toutes ces hypothèses, et fonder sur une base sûre la théorie chimique de la pratique agricole : en essayant sur une culture déterminée l'action de chaque composé défini dont se compose un engrais ou un amendement, on appréciera avec certitude la part d'influence qui revient à chacun d'eux. De même en recherchant quels sont les principes des engrais qui rendent un sol, épuisé par une espèce de plante, fertile pour cette même espèce, on reconnaîtra quels sont les éléments dont l'absence amène la stérilité. Ces questions, en apparence si complexes, se résument donc dans les expériences rationnelles de la méthode mixte sur l'influence des *composés chimiques définis* dans la végétation. Par exemple, que l'activité du noir animal, de la poudre d'os, tient principalement à l'acide phosphorique ; que la matière azotée a le plus d'importance dans les engrais organiques; que l'acide phosphorique y joue également un certain rôle, etc.

Il y a plus : les expériences dont je parle ont été faites, surtout en Angleterre, dans un but pratique; on a cherché à suppléer à l'insuffisance des engrais naturels par des mélanges de sels chimiques (engrais chimiques) appropriés aux végétaux.

En rendant ainsi au sol tous les éléments de fertilité *nécessaires* à chaque espèce de végétal et rien de plus, on peut obtenir des récoltes très-abondantes en utilisant toutes les parties de l'engrais. On peut aussi s'affranchir plus ou moins de la nécessité des assolements, puisqu'on communique à un terrain une fertilité très-grande pour une espèce quelconque sans rien perdre de l'engrais employé. Au point de vue de la culture il y a là certainement un progrès; mais au point de vue économique, la question est plus complexe : lorsque, comme en Angleterre, on a besoin, à quelque prix que ce soit, d'obtenir des cultures intensives, les engrais chimiques peuvent rendre de grands services, je n'y contredis point. Mais je doute fort qu'ils puissent être généralisés avec avantage. Je me demande si, en principe, il est rationnel d'extraire à grands frais certains sels chimiques des matières premières de la nature ou des résidus industriels de toute

espèce, pour les offrir ainsi préparés aux végétaux, alors que ceux-ci ont la merveilleuse propriété d'extraire eux-mêmes ces sels des mélanges les plus complexes. L'industrie me paraît inspirée d'idées plus vraies lorsque, suivant une voie inverse, elle utilise les végétaux pour faire une première sélection parmi les sels multiples des terrains, et isoler ensuite dans les cendres de ces végétaux les sels définis dont elle a besoin.

Résultats généraux de la méthode mixte. — Les progrès que la chimie des grands végétaux doit à la méthode mixte peuvent se résumer par les propositions suivantes :

Les expériences rationnelles de cette méthode ont mis hors de doute l'influence favorable qu'exercent sur le développement des végétaux certains composés chimiques définis ajoutés au sol : divers composés azotés tels que les nitrates, les sels ammoniacaux, les composés organiques de l'azote ; les phosphates, les sulfates, les sels de potasse, etc. ; résultats sur lesquels l'analyse ou les faits pratiques ne donnent que des aperçus très-incomplets.

Ces mêmes expériences nous apprennent que les effets physiologiques de ces composés sont dus respectivement à l'azote, à l'acide phosphorique, à l'acide sulfurique, à la potasse, etc.

Elles ne nous donnent aucune indication directe sur le rôle de ces éléments.

Mais nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que ces résultats se relient à ceux de la méthode analytique : vraisemblablement l'azote, l'acide phosphorique, la potasse, l'acide sulfurique dont la méthode mixte constate l'efficacité, servent à fournir aux plantes l'azote, le phosphore, le potassium, le soufre, qui paraissent, d'après les résultats de l'analyse, contribuer avec le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, à la formation des organes des végétaux.

Enfin la méthode mixte donne à la théorie des engrais, des amendements et des assolements une base solide, en même temps qu'elle conduit à une modification importante de la pratique agricole.

La méthode mixte, aidée de l'analyse qui en fait essentiellement partie, est donc plus féconde que la méthode analytique proprement dite. Aussi lui est-elle postérieure, car c'est de 1840 à 1850 qu'elle a acquis tout son développement.

En résumé, les deux méthodes précédentes ont déjà tracé quelques traits de la théorie chimique de la végétation, et pourtant on sent combien cette esquisse est encore vague et incomplète, précisément dans les parties les plus essentielles.

III. — Méthode synthétique.

Existe-t-il un milieu formé de composés chimiques définis dans lequel un végétal puisse se développer? Telle est la question sur laquelle repose la méthode synthétique tout entière.

Possibilité du développement des végétaux dans un milieu artificiel formé des éléments de l'air et de l'eau. — Les faits les plus vulgaires, la germination des graines à l'humidité, la conservation des fleurs par l'eau, ont dû donner naissance à cette hypothèse, que peut-être l'air et l'eau suffiraient au développement des plantes. Cette vue parut confirmée par les expériences de Duhamel (1), d'Ingenhousz (2), de Tillet (3), qui firent pousser des végétaux dans des milieux formés uniquement par l'air et par l'eau. Cependant Duhamel et Ingenhousz avaient employé de la mousse ou du liége pour fixer leurs plantes ; Tillet avait enterré dans le sol les vases poreux dont il se servait : les végétaux avaient donc peut-être puisé leur nourriture dans les matières organiques de la mousse, du liége ou du sol. Hassenfratz (4) répondit à cette objection par quelques expériences mieux conçues : dans des vases de verre, il fit germer des graines maintenues à la surface de l'eau dans de petits entonnoirs ou sur des

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences,* 1748, p. 272.
(2) Ingenhousz, *Expériences sur les végétaux,* p. 387.
(3) *Mémoires de l'Académie des sciences.* 1772, p. 99.
(4) *Annales de chimie,* t. XIII, p. 179.

fils métalliques, et il obtint des plantes rudimentaires qui allèrent jusqu'à donner des feuilles et des fleurs. Ces plantes s'étaient en réalité développées uniquement dans l'air et dans l'eau. Mais la matière des graines n'avait-elle fait qu'accroître son volume et changer de forme sans augmenter de poids, ou bien s'était-il produit réellement de la matière organisée aux dépens de l'air et de l'eau? C'est ce point resté obscur que Th. de Saussure (1) réussit à élucider : il sema des graines dans du sable ou dans d'autres sols inertes contenus dans des vases de verre, les arrosa avec de l'eau pure, et obtint des plantes, qui, à l'état sec, pesèrent plus que les graines et fournirent plus de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Le fait de la production de matière organisée par les substances de l'air et de l'eau était désormais incontestable.

Ce principe une fois établi nous conduit naturellement à rechercher quels sont parmi les corps simples ou composés de l'air et de l'eau ceux qui participent nécessairement au développement des végétaux : on voit sans peine que la solution de ce problème se trouve dans la suppression successive de chacun des éléments de l'air et de l'eau et dans la mesure des effets produits sur le végétal par cette modification.

Des éléments de l'air et de l'eau essentiels à la végétation. — L'absolue nécessité de l'*eau* dans la végétation des plantes est trop connue pour que j'aie besoin de m'y arrêter.

Ingenhousz (2) établit que l'*oxygène* de l'air est un élément essentiel à la végétation : car des graines privées d'oxygène ne germèrent point, et des plantes déjà développées périrent promptement à l'obscurité, moins vite à la lumière, dans des gaz dépouillés d'oxygène. Mais c'est de Saussure qui précisa jusqu'à quel point cet élément est nécessaire à la vie des plantes : il démontra que les parties vertes des végétaux peuvent s'en passer à la lumière; que les parties vertes à l'obscurité, et les autres

(1) Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 39 et 225.

(2) Ingenhousz, *Expériences sur les végétaux*.

parties dans toutes les circonstances en ont absolument besoin, et qu'une plante entièrement privée de ce gaz périt plus ou moins promptement, même à la lumière.

Priestley (1) n'obtint sur l'action de l'*acide carbonique* dans la végétation, que des résultats contradictoires : il vit ce gaz nuire souvent et quelquefois aider au développement des végétaux. Néanmoins la singularité même de ces faits attira l'attention des physiologistes, et Senebier, tout en reconnaissant qu'une trop forte proportion d'acide carbonique est nuisible aux plantes, pressentit, d'après ses propres expériences, qu'une petite quantité de ce gaz leur est utile. Mais c'est encore de Saussure (2) qui détermina exactement la loi des effets de ce gaz sur les végétaux ; il constata qu'à l'ombre la moindre quantité d'acide carbonique retarde la végétation ; qu'à la lumière, si un excès de ce gaz est nuisible, une petite quantité active singulièrement les progrès de la végétation ; et même il fit cette importante observation, qu'un végétal n'augmente réellement de poids qu'autant qu'il vit partiellement à la lumière et dans l'acide carbonique.

L'*azote* de l'air n'est pas indispensable à la vie des plantes : M. Ch. Mène et divers expérimentateurs ont pu le supprimer et le remplacer par d'autres gaz inertes, sans que la végétation ait paru en souffrir.

Mais il ne suffit pas de connaître les éléments du milieu extérieur utiles à la vie des plantes ; il importe encore d'en rechercher avec soin les transformations chimiques, afin de déterminer le rôle de chacun d'eux.

Étude par la méthode directe des transformations des éléments de l'air par les végétaux, ou étude de la respiration. — Les modifications chimiques que les végétaux font subir à l'atmosphère constituent le phénomène chimique de la respiration des plantes ; les travaux qui s'y rattachent sont considérables ; je me contenterai de les examiner rapidement dans leur ensemble.

(1) Priestley, *Expériences et observations sur différentes espèces d'air.*

(2) De Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 27.

Vers le milieu du XVIII[e] siècle, Bonnet observa que des feuilles plongées dans l'eau, au soleil, se couvrent de bulles de gaz. Priestley (1) remarqua que les végétaux tantôt améliorent, et tantôt gâtent davantage l'air vicié par la respiration des animaux. Ces faits isolés appelèrent l'attention des savants, et bientôt Ingenhousz (2) et Senebier (3) découvrirent la loi générale de la respiration des plantes : Ingenhousz démontra que les végétaux à l'ombre absorbent l'oxygène de l'air, et dégagent de l'acide carbonique, et que ce phénomène, loin d'être le résultat d'une altération des végétaux, est lié à leur développement. Il prouva également que les plantes, sous l'influence de la lumière, dégagent de l'oxygène de leurs parties vertes, et Senebier compléta cette découverte en y ajoutant le fait de l'absorption de l'acide carbonique, corrélativement au dégagement de l'oxygène.

Cependant il restait à étudier les circonstances essentielles du phénomène de la respiration : c'est ce travail qu'entreprit Th. de Saussure (4). Avant tout il s'assura que le dégagement de l'acide carbonique à l'obscurité, comme aussi l'absorption de ce gaz au soleil, sont des phénomènes essentiels à la vie, en relation avec l'absorption et le dégagement de l'oxygène, proposition qui soulevait encore bien des contestations. Alors il suivit dans différents cas ces variations de l'acide carbonique et de l'oxygène, et il eut soin de les mesurer avec toute l'exactitude possible. Il établit que les feuilles ordinaires, à la lumière, absorbent de l'acide carbonique, qu'elles remplacent par un volume un peu moindre d'oxygène; qu'à l'obscurité elles absorbent de l'oxygène et dégagent un égal volume d'acide carbonique. Il démontra encore que les organes privés de matière verte respirent en tout temps comme les feuilles pendant la nuit. C'est à ces cas simples qu'il rattacha tous les autres : la respiration des organes verts charnus (fruits et feuilles charnues); la respiration totale des feuilles placées pendant plusieurs jours et plusieurs nuits dans

(1) Priestley, *Expériences et observations sur différentes espèces d'air.*

(2) Ingenhousz, *Expériences sur les végétatux.*

(3) Sennebier, *Expériences sur l'action de la lumière solaire dans la végétation.*

(4) Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation.*

un mélange d'acide carbonique et d'oxygène non renouvelés ; la respiration des plantes vertes dans un air confiné; enfin celle des plantes vertes à l'air libre. Voici le résultat final et le plus essentiel de toutes ses recherches : lorsqu'une plante verte a respiré pendant plusieurs jours et plusieurs nuits dans un mélange d'oxygène et d'acide carbonique, une portion de l'acide carbonique extérieur a disparu ; le carbone est fixé dans la plante, et l'oxygène dégagé à peu près en entier.

Les efforts des nombreux expérimentateurs qui ont suivi la voie tracée par de Saussure n'ont eu d'autre but que de mieux séparer les diverses circonstances du phénomène de la respiration, et de les faire varier successivement pour apprécier l'influence de chacune d'elles.

MM. Corenwinder (1), Cloëz (2), Boussingault (3), à l'aide de feuilles ou même de portions de feuilles diversement colorées, cherchèrent comment varient les produits de la respiration avec l'étendue, la couleur, la structure de la feuille qui respire. Les études de Th. de Saussure, de Bérard (4), de MM. Fremy et Decaisne (5), de M. Cahours (6) sur la respiration des fruits, nous intéressent non-seulement à cause de l'importance de ces organes, mais aussi parce qu'elles font intervenir dans le phénomène de la respiration le degré de pureté de la matière verte et le rapport de la surface d'un organe à son volume. M. de Fauconpret (7) a examiné l'influence de la température, M. Corenwinder (8) celle de l'intensité de la lumière sur la production ou la décomposition de l'acide carbonique. M. Garreau (9) a fait varier et la température et l'intensité de la lumière, et la nuance de la matière verte. Les expériences de l'abbé Tessier, de Paggioli, de

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1863, t. LVII, p 915.

(2) *Ibid.*, 1863, t. LVII, p. 834.

(3) *Ibid.*, 1866, t. LXIII, p. 706.

(4) *Annales de chimie et de physique*, t. XVI, p. 152.

(5) *Comptes rendus*, t. LVIII, p. 656.

(6) *Comptes rendus*, t. LVIII. p. 495.

(7) *Comptes rendus*, t. LVIII, p. 334.

(8) *Ibid.*, t. LXII, p. 340.

(9) *Annales des sciences naturelles*, 3e série, BOTANIQUE, t. XV, p. 5.

Gilby, de Payer, mirent hors de doute l'influence de la réfrangibilité des rayons lumineux sur le phénomène de la respiration : mais elles donnèrent souvent des résultats contradictoires. M. C. M. Guillemin (1), en 1857, reprit la même question avec toute la précision que comporte la physique moderne. Il signala les causes de désaccord des résultats obtenus avant lui : d'une part les rayons lumineux dont on s'était servi n'étaient pas des rayons simples, de l'autre l'activité respiratoire des plantes avait été mesurée par des effets différents qui n'étaient pas proportionnels. Il constata que les végétaux sont sensibles à l'action de tous les rayons du spectre solaire, même des rayons chimiques et calorifiques; que les divers effets de la lumière sur les végétaux, c'est-à-dire la décomposition de l'acide carbonique, la production de la matière verte, la flexion directe et la flexion latérale des tiges varient en grandeur d'une extrémité à l'autre du spectre; et que chacun d'eux peut être représenté par une courbe distincte présentant un ou plusieurs maxima.

MM. Cloëz et Gratiolet (2), Van Tieghem et Lechartier rattachèrent la respiration des plantes aquatiques aux lois générales de la respiration aérienne; le mode de végétation de ces plantes leur permit d'étudier le cas de la respiration dans un milieu très-différent de l'air sans sortir les végétaux de leur état normal, et de suivre le mouvement des gaz respiratoires qu'il est impossible de distinguer dans l'air atmosphérique.

Plusieurs observateurs, tels que Bérard, MM. Calvert et Ferrand (3) se sont aussi préoccupés de comparer la respiration des organes isolés à celle d'organes identiques attachés à la plante mère.

De toutes ces expériences il résulte que le phénomène de la respiration est un phénomène complexe qui varie en raison de l'intensité de la lumière, de la réfrangibilité des rayons, de la

(1) *Annales des sciences naturelles*, t. VII, 1857, p. 154.
(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXXII, p. 41.
(3) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. II, p. 477.

température, de la quantité et de la nuance de la matière verte, du volume de l'organe qui respire, etc., etc.

Il en résulte encore que la composition du milieu extérieur exerce sur la respiration d'un organe une influence capitale; si les lois qui s'y rattachent, dans les travaux que j'ai cités, ne présentent pas toujours assez de netteté et de constance dans les détails, c'est qu'on n'a pas en général étudié la respiration des plantes dans des milieux de composition très-simple, constante pendant le cours d'une expérience, et soumise à des variations simples d'une expérience à une autre : il y aurait peut-être intérêt à reprendre l'étude de la respiration à ce point de vue, soit par le procédé que MM. Reiset et Regnault ont appliqué à la respiration des animaux, soit par la méthode indirecte qui sera exposée plus loin (1).

Pour compléter l'examen des éléments gazeux de l'atmosphère, il nous reste à rechercher si l'azote de l'air varie par la respiration des végétaux.

Priestley et Ingenhousz crurent à une absorption de ce gaz par les plantes; de Saussure observa à la lumière un dégagement d'azote par les feuilles. M. Ch. Mène (2) trouva que la végétation n'altère pas le volume de l'azote de l'air.

Ces expériences prouvent simplement que le volume de l'azote de l'air varie peu par le fait de la végétation; mais elles manquent de précision à cause de l'énorme volume d'azote qu'on est obligé de mesurer; il y a là une cause d'erreur qu'on pourrait éviter en étudiant dans leur milieu naturel les végétaux aquatiques. C'est ce qu'ont fait MM. Cloëz et Gratiolet, Van Tieghem et Lechartier, et ils ont toujours obtenu à la lumière des gaz mêlés d'une notable proportion d'azote. Mais cet azote venait-il de la matière azotée du végétal ou bien de l'azote libre dissous dans l'eau ou enfermé dans les pores de l'organisme? M. Boussingault leva cette difficulté en mesurant l'azote libre de l'eau et des plantes avant et après l'expérience, et il constata l'invariabilité de ce gaz (3).

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXVI, p. 299.
(2) *Comptes rendus*, t. XXXII, p. 180.
(3) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXVI, p. 295.

La méthode qui a servi aux expériences que je viens de rapporter mérite de fixer notre attention : elle consiste à doser dans le milieu extérieur, avant et après la végétation, l'élément dont on veut apprécier le dégagement ou l'absorption par le végétal : c'est la *Méthode directe.*

Étude par la méthode indirecte des transformations des éléments de l'air et de l'eau par les végétaux. — Mais on pourrait atteindre le même but par une *méthode indirecte* en dosant l'élément dont je viens de parler dans la plante elle-même avant et après la végétation.

C'est par l'examen des recherches qui se rattachent à cette seconde méthode que je compléterai l'étude de la respiration.

Ces deux méthodes, en effet, ne sont pas seulement destinées à se vérifier l'une l'autre ; elles ont encore des caractères bien tranchés qui doivent les faire préférer tour à tour suivant la nature des questions que l'on doit traiter.

Prenons pour exemple la question de l'absorption ou du dégagement de l'azote gazeux par les végétaux :

La *méthode directe* qui repose sur la mesure des volumes de gaz est plus commode, plus rapide que la *méthode indirecte* qui a recours à l'analyse organique élémentaire. Mais la première méthode recherche l'azote disséminé dans une grande quantité de matières ; les volumes d'azote mesurés sont considérables par rapport à la variation de ce gaz qu'on veut constater ; enfin c'est à l'état gazeux que s'effectuent les dosages de cet élément. Au contraire, dans la méthode indirecte, on mesure l'azote ramassé dans le volume toujours faible de la plante ; les quantités d'azote dosées sont moins fortes par rapport à la variation de ce corps simple qu'il s'agit d'apprécier ; enfin, si l'on emploie le procédé de M. Peligot, on peut évaluer l'azote condensé sous un très-petit volume. Évidemment la méthode indirecte a pour elle l'avantage de la précision.

En ce qui concerne l'azote, les résultats approximatifs, obtenus par la méthode directe, suffisent tant qu'on n'a en vue que l'étude d'un végétal déterminé. Mais la question change d'aspect si on l'envisage dans ses rapports avec les faits généraux. Ainsi

la quantité de végétaux répandus à la surface de la terre est si considérable, que la plus minime proportion d'azote absorbée ou exhalée par une plante devient, avec le temps, pour l'air atmosphérique, une cause d'altération appréciable. De même, en agriculture, suivant que l'azote est absorbé ou dégagé par les plantes, en si petite quantité que ce soit, il en résulte, avec le temps, pour la ferme, un gain ou une perte très-appréciable de composés azotés, dont il importe de tenir compte. Telles sont les considérations qui ont engagé M. Boussingault à reprendre la question des variations de l'azote de l'air dans l'acte de la végétation, avec toute la précision de la méthode indirecte.

En 1837 et 1838 l'éminent agronome fit végéter des plantes dans un sol aride à l'air libre : en dosant l'azote des graines et des récoltes correspondantes, il trouva pour le blé, l'avoine, etc. (plantes épuisantes), des résultats identiques ; mais le trèfle, les pois, etc. (plantes améliorantes), donnèrent dans les récoltes des excédants d'azote fort appréciables (1).

Le problème était à peu près résolu au point de vue de la pratique ; certaines espèces de plantes étaient capables de prendre de l'azote à l'atmosphère. Mais théoriquement il restait à décider si cet azote absorbé avait pour origine l'azote gazeux ou bien certains composés azotés de l'atmosphère : cette dernière hypothèse s'accrédita, surtout à la suite des travaux qui démontrèrent l'existence normale de l'ammoniaque et de l'acide nitrique dans l'air ambiant.

C'est dans cette vue que M. Boussingault, en 1851, reprit ses premiers essais ; seulement il eut soin de faire végéter ses plantes non plus à l'air libre, mais dans un volume restreint d'acide carbonique et d'air atmosphérique mélangés, dont les composés azotés étaient tout à fait négligeables. Les résultats furent négatifs (2).

Pour s'assurer que la stagnation de l'air qui entravait peut-être la marche de la végétation, n'avait point été un obstacle à l'absorption de l'azote, M. Boussingault recommença ses expé-

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. LXVII, p. 5, et t. LXIX, p. 353.
(2) *Annales de chimie et de physique*, t. XLI, p. 5, et t. XLIII, p. 149.

riences avec une circulation d'air convenablement purifié ou même à l'air libre dans des conditions spéciales; les résultats furent encore négatifs (1). Pour rechercher si une végétation plus vigoureuse ne donnerait pas aux plantes la force d'absorber l'azote libre, il ajouta au sol des engrais minéraux et azotés; les résultats persistèrent à être négatifs; l'azote de l'air ne fut point absorbé (2).

M. Boussingault a apporté jusque dans les moindres détails de ces dernières expériences une précision qui défie toute critique, et qui, inconnue jusque-là dans ce genre de recherches, n'a point été dépassée. C'est là une sérieuse garantie de l'exactitude des résultats. Mais il y a, même dans les expériences les plus irréprochables, des causes d'erreurs dont on doit, avant de conclure, déterminer l'influence sur les nombres obtenus, précaution trop souvent négligée dans les recherches de physiologie, là précisément où la complication des phénomènes la rend plus nécessaire. Or les résultats de M. Boussingault ne sauraient être attribués à des erreurs d'expérience; ils portent en eux-mêmes la preuve certaine de leur exactitude. En effet, M. Boussingault a toujours retrouvé après chaque expérience, dans les produits de la végétation, tout l'azote combiné des semences et du sol, à 2 ou 3 milligrammes près. Cette légère différence se compose : 1° de l'azote qui a pu être absorbé ou exhalé pendant la végétation; 2° de l'erreur totale d'expérimentation. Ces deux termes sont *indépendants* l'un de l'autre, et puisque leur somme est *constamment* plus petite que 3 milligrammes, chacun d'eux doit être moindre que cette quantité. Voici donc la conclusion rigoureuse et certaine à laquelle nous sommes conduits : les végétaux que M. Boussingault a soumis à ses expériences, dans les conditions où il s'est placé, n'absorbent pas l'azote de l'air en quantité supérieure aux limites d'erreur que comportent les procédés les plus exacts de l'analyse organique élémentaire.

M. G. Ville a étudié la même question par la même méthode; et il a généralement obtenu dans les récoltes plus d'azote que

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, 1855, t. XLIII, p. 149.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 1856, t. XLVI, p. 5.

les graines et les engrais n'en contenaient; cet excédant augmentait avec la vigueur des végétaux, et était plus fort pour les plantes améliorantes que pour les plantes épuisantes (1).

Je ne conteste pas le mérite de ces nombreuses expériences; mais M. G. Ville ne paraît pas s'être astreint aussi rigoureusement que M. Boussingault à réduire le plus possible l'azote combiné que le sol, l'air, les vases, etc., apportent accidentellement dans les expériences; à doser directement et en totalité l'azote de ces matières; à ne fonder aucun raisonnement sur des analogies plus ou moins lointaines; à n'accorder aucune place aux hypothèses même les plus vraisemblables. Est-ce à ces imperfections ou bien à une absorption réelle qu'il faut attribuer l'azote en excès des récoltes? c'est là le nœud de la question.

Or, *dans un certain nombre de cas*, M. Boussingault et M. Ville ont expérimenté dans des conditions semblables et pourtant leurs résultats sont en désaccord; si donc, comme je pense l'avoir démontré, les résultats de M. Boussingault sont exacts, ceux de M. G. Ville doivent être mis sur le compte des causes d'erreur que j'ai signalées. *Dans d'autres cas*, M. Ville s'est plus ou moins éloigné des conditions des expériences de M. Boussingault; mais les excès d'azote dans les récoltes ont encore été de même ordre de grandeur que ceux des premières expériences; on ne saurait donc les attribuer avec certitude à l'absorption de l'azote de l'air par les plantes, plutôt qu'aux erreurs d'expérimentation.

Si donc il m'était permis d'émettre une opinion sur une question aussi délicate, aussi controversée, voici comment je la formulerais : dans un certain nombre de cas, parfaitement déterminés, les végétaux n'absorbent pas l'azote libre en quantités supérieures aux limites d'erreur des analyses les plus exactes; mais on ne saurait affirmer qu'ils ne l'absorbent pas absolument. Dans tous les autres cas, il règne encore beaucoup d'incertitude sur le fait de l'absorption de l'azote libre par les plantes.

(1) *Comptes rendus*, t. XXXI, p. 578, 1850, et t. XXXV, 1852. — *Annales de chimie et de physique*, t. XLIX, p. 197.

La méthode indirecte convient encore admirablement pour déterminer le résultat final de l'action de l'acide carbonique et de l'eau sur le développement des plantes dans les milieux artificiels.

C'est ainsi que de Saussure (1), par le dosage direct du carbone dans les végétaux, vérifia ce que la méthode indirecte lui avait indiqué moins sûrement : que dans l'acte de la végétation, le carbone de l'acide carbonique décomposé est fixé dans les plantes. Il reconnut également que l'excès du poids des récoltes sur celui des graines est de beaucoup supérieur au poids du carbone fixé, d'où il conclut que les éléments de l'eau entrent en combinaison dans l'organisme.

Plus tard, M. Boussingault (2) précisa ces faits, et constata que le phénomène de la végétation dans un milieu artificiel se résume en un gain de carbone, d'oxygène et d'hydrogène en excès par rapport à l'oxygène, qui ne peuvent avoir pour origine que l'acide carbonique et l'eau. Inversement, il constata dans la germination une perte de ces trois corps simples, avec production d'acide carbonique et d'eau (3).

Ces études seraient incomplètes si l'analyse immédiate ne succédait à l'analyse élémentaire pour suivre les transformations des principes définis des végétaux, d'abord dans la masse de l'organisme, ensuite avec l'aide du microscope, dans chacun des organes élémentaires à la formation desquels ils participent. J'ai déjà indiqué dans l'exposé de la méthode analytique les principaux caractères de ces sortes de recherches. Elles trouvent de nouvelles ressources dans la méthode synthétique ; cette méthode, en simplifiant les phénomènes chimiques de la vie, simplifie l'analyse des principes immédiats des végétaux en même temps qu'elle permet d'en saisir les rapports avec les éléments du sol et de l'atmosphère.

Aussi de sérieux travaux ont été entrepris dans cette direction et ont singulièrement éclairé l'étude des réactions intimes des

(1) *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 39.

(2) Boussingault, *Économie rurale*, t. I, p. 73 et suivantes.

(3) *Comptes rendus*, p. 40 et suivantes.

végétaux, en particulier de celles qui accompagnent la germination ; je citerai principalement les recherches de M. Boussingault (1) sur les transformations des principes ternaires de la graine pendant qu'elle végète à l'obscurité, celles de MM. Oudemans et Rauwenhoff sur la germination (2), et les études micrographiques de Th. Hartig (3), J. Sachs (4), A. Gris, etc. (5).

Loi de la statique chimique des êtres vivants. — Telle est la marche générale qui a été suivie dans l'étude des rapports des éléments de l'air et de l'eau avec la végétation. Parmi toutes les découvertes que j'ai signalées, il faut remarquer le résultat définitif des recherches de Th. de Saussure : l'acide carbonique et l'eau fournissant aux végétaux du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène, avec élimination d'oxygène ; des composés minéraux se transformant en matière organisée, voilà assurément un fait bien digne d'être médité ; c'est peut-être le plus grand progrès que la chimie des végétaux ait jamais accompli. Je vais en donner la preuve : on se rappelle que la méthode analytique et la méthode mixte n'ont pu relier par des lois simples tous les phénomènes de la végétation. Mais il suffira de rapprocher quelques-uns des faits épars, constatés par ces deux méthodes, de l'important résultat de Th. de Saussure, pour composer la loi générale de la chimie des êtres vivants ; cette loi que MM. Liebig et Dumas ont conçue à peu près en même temps, M. Dumas l'a exprimée d'une manière plus complète, plus précise et plus vraie. Elle se résume dans cette formule (6) :

(1) *Comptes rendus*, 1864, t. LVIII, p. 917.
(2) *Linnæa*, XIV, 1859, p. 213.
(3) *Entwicklungsgeschichte der Pflanzen.*
(4) *Sitzungsbericht...... der kais. Akad. der Wiss.* Wien 1859.
(5) *Annales des sciences naturelles*, t. II, p. 5, 1864.
(6) *Annales de chimie et de physique*, t. IV, p. 115, 3e série.

UN VÉGÉTAL :	UN ANIMAL :
Produit des matières sucrées, grasses, albuminoïdes.	*Consomme* des matières sucrées, grasses, albuminoïdes.
Réduit avec dégagement d'oxygène :	*Produit* en absorbant de l'oxygène :
CO^2	CO^2
HO	HO
AzH^4O.	AzH^4O
Absorbe de la chaleur.	*Dégage* de la chaleur.
Est immobile.	*Se meut.*

Sans doute cette loi est incomplète, elle laisse de côté une classe d'êtres (les êtres microscopiques) dont la place dans le cercle de la vie a été assignée par des travaux plus récents ; elle n'indique pas les rapports des êtres vivants avec les corps simples autres que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Mais cette loi a suscité des travaux de premier ordre; elle a reçu la sanction de l'expérience, et la base qu'elle offre à la théorie chimique des êtres vivants est inébranlable.

Insuffisance des éléments de l'air et de l'eau pour produire des végétations normales. — Avant de poursuivre le cours de ces études, il importe de mesurer le chemin que la méthode synthétique a parcouru jusqu'ici : cette méthode, nous l'avons vu, a été fondée par les expériences qui établirent que la matière organisée peut se produire à l'aide des composés définis de l'air et de l'eau ; dès lors des problèmes d'une haute portée ont été posés, poursuivis, résolus pour la plupart. Mais le phénomène chimique de la végétation est-il enfermé tout entier dans le cercle étroit des réactions de deux ou trois éléments : l'eau, l'acide carbonique, l'oxygène? N'entrevoyons-nous rien au delà de ces limites? Cette question se confond avec celle-ci : les éléments de l'air et de l'eau, suffisants pour former de la matière organisée, suffisent-ils à donner à un végétal tout le développement qu'il peut acquérir dans les conditions les plus favorables?

Van Helmont, Boyle, Tillet, Braconnot, semblèrent résoudre affirmativement cette question, car ils obtinrent dans un sol inerte, à l'aide des éléments de l'air et de l'eau, des plantes vigoureuses qui donnèrent naissance à des graines qui furent plusieurs fois resemées. Mais à la simple lecture de leurs mémoires,

on reconnaît bien vite qu'une foule de substances étrangères à l'air et à l'eau ont dû s'introduire dans leurs essais. D'autre part, Duhamel vit un chêne maintenu dans l'eau prospérer d'abord, et après quelques années ralentir ses progrès. Hassenfratz n'obtint, des graines qu'il semait sur l'eau, que des plantes rudimentaires, qui produisirent des fleurs et non des graines. Mais peut-être l'absence d'un sol mécanique solide était-elle une condition défavorable à la végétation. De Saussure fit des expériences analogues, en se rapprochant davantage des conditions de la nature par l'emploi d'un sol poreux inerte, et il ne réussit encore à produire que des plantes fort incomplètes.

Il est donc hors de doute que les éléments de l'air et de l'eau ne suffisent pas au développement normal et régulier des végétaux. Dès lors le phénomène de la végétation, tel que nous l'avons étudié jusqu'ici, n'est qu'un phénomène incomplet; il ne paraît avoir que des rapports fort éloignés avec les phénomènes naturels, et ainsi restreint, il perd une partie de l'intérêt immense qu'il paraissait offrir (1).

Possibilité d'accroître considérablement par l'addition de certains sels, les récoltes fournies par les éléments de l'air et de l'eau. — Il en serait autrement si, en ajoutant à l'air et à l'eau *certains composés chimiques définis*, on parvenait à accroître dans un rapport assez grand le poids des récoltes : on réaliserait un progrès considérable qui conduirait infailliblement à de nouvelles découvertes. A priori, rien ne prouve la possibilité de ce progrès, car

(1) Les recherches sur la végétation dans les milieux artificiels sont de même ordre que les recherches de Magendie sur la nutrition des animaux avec des mélanges de composés chimiques définis : sucre, matière grasse, albumine. Cet illustre physiologiste réussit à soutenir pendant quelque temps la vie d'animaux soumis au régime de ces mélanges ; mais il ne put les maintenir longtemps en état de santé; la nourriture artificielle dont il se servait était donc insuffisante pour les animaux, de même que l'air et l'eau ne suffisent pas au développement des végétaux. Magendie, malgré ses efforts, ne put composer un aliment complet. Du moins il indiqua la condition essentielle du progrès de cette question à laquelle il attachait une grande importance : « séparer de la viande un principe qui, réuni à l'albumine, à la gélatine, à la fibrine, » les convertisse en aliments suffisants pour les Carnivores. » *Comptes rendus*, t. XIII p. 237.

rien ne démontre qu'il existe un mélange artificiel de composés définis, qui puisse remplacer vis-à-vis des végétaux les matières naturelles des engrais formées sous l'influence de la vie. C'est à l'expérience seule à nous dire si ce progrès est réalisable, et à qui nous devons en attribuer le mérite.

Les expérimentateurs qui s'occupèrent de cette question furent utilement guidés, par les résultats de la méthode mixte et de la méthode analytique, dans la recherche de substances propres à fertiliser les sols arides des expériences qui précèdent. Wiegmann et Polstorff, dans du sable mêlé de divers sels et d'un précipité chimique extrait de la tourbe, obtinrent des végétaux plus vigoureux que dans le sable pur. Mais cet extrait de tourbe était trop indéterminé pour être classé parmi les composés chimiques définis, et le but que nous avons en vue n'était pas atteint (1).

Le prince de Salm comprit mieux la question lorsqu'il fit végéter de l'avoine dans du sable exclusivement mêlé de sels. Les plantes allèrent jusqu'à donner des graines, et les récoltes furent plus fortes que dans le sable pur. Mais les résultats ne furent ni assez constants, ni assez précis pour servir de bases à des expériences exactes (2).

Les premières expériences décisives sur cette question sont dues à M. Boussingault (3).

En 1855, il fit végéter des *Helianthus* dans un vase en porcelaine avec *du sable*, *des cendres alcalines*, *des cendres lavées*, *du nitre*. Le poids de la récolte fut au moins *vingt* fois plus fort que dans le *sable pur*.

Cette expérience réalise le progrès que j'ai indiqué, puisque le poids des récoltes est augmenté dans un rapport numérique considérable par l'addition de composés chimiques définis.

M. G. Ville tenta de fixer les conditions de ce progrès en remplaçant les mélanges complexes dont M. Boussingault avait fait usage par des sels définis.

(1) Liebig, *Chimie appliquée, etc.*, p. 332.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXXII, p. 461.

(3) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLVI, p. 5.

Il réussit à accroître le poids des récoltes *de blé* dans un rapport considérable, en ajoutant au sable pur les sels suivants (1) :

Nitrate de potasse	0,792
Phosphate de chaux	2,610
— de magnésie	3,800
Sulfate de chaux	0,100
Chlorure de sodium	0,100
Oxyde de fer	0,100
Silicate de potasse	3,090
— de soude	0,260

La voie que l'on doit suivre pour apprécier l'influence et le rôle de chacun de ces éléments dans la végétation est à présent toute tracée : il faut supprimer un à un les éléments salins dont le mélange s'est montré tellement efficace, en faire varier les proportions, les remplacer par d'autres éléments, comparer les poids de récoltes obtenues dans ces différentes conditions, et compléter au besoin ces recherches par l'analyse des produits de la végétation.

Influence des composés azotés sur la végétation. — Parmi les substances salines qui favorisent la végétation, l'élément azoté se place au premier rang par son importance; aussi a-t-il le plus attiré l'attention des savants.

Déjà, en 1848, le prince de Salm avait reconnu les bons effets des nitrates sur la végétation dans les milieux artificiels. En 1855, MM. Boussingault (2) et G. Ville (3) arrivèrent, chacun de leur côté, à des résultats plus précis : ils prouvèrent que l'addition du nitre à un mélange convenable de sels minéraux accroît notablement le poids des récoltes.

M. Boussingault mesura les effets du nitre par des nombres qui accusent de la part de ce sel une influence considérable : il obtint pour les poids des récoltes avec et sans nitre des rapports variables entre 20 : 1 et 40 : 1. Il constata encore que le

(1) *Comptes rendus*, t. XVII, p. 440.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XLVI, p. 5.

(3) *Comptes rendus*, t. XLI, p. 938.

poids du nitre est à peu près proportionnel à l'accroissement de récolte qu'il produit, pourvu que les quantités de nitre ajoutées soient suffisamment petites ; c'était indiquer que le nitre intervient probablement suivant des proportions définies dans la formation du végétal (1).

En démontrant que cette substance peut être remplacée dans ses effets sur les végétaux par le nitrate de soude, le nitrate d'ammoniaque, le nitrate de chaux, MM. Boussingault et G. Ville prouvèrent que les nitrates agissent principalement par l'*acide nitrique*. Par l'analyse, M. Boussingault reconnut que l'azote du nitre passe dans le végétal ; M. Ville s'assura qu'il y existe à l'état de combinaison organique (2). Dès lors il était hors de doute que si les nitrates ajoutés aux éléments minéraux augmentent considérablement le poids des récoltes, leur rôle est de fournir aux plantes l'azote nécessaire pour former certains composés organiques.

C'est à M. G. Ville que revient le mérite d'avoir prouvé que les sels ammoniacaux, quel qu'en soit l'acide, peuvent être substitués aux nitrates, et produisent sur la végétation des effets analogues, d'où il résulte que les rôles de ces composés sont identiques (3).

Il est bien remarquable que deux composés chimiquement aussi différents que l'acide nitrique et l'ammoniaque puissent se remplacer physiologiquement, et il est intéressant de savoir s'ils peuvent être remplacés par d'autres composés de l'azote. M. G. Ville a entrepris sur ce sujet une série de recherches qui l'ont conduit à des résultats dont voici le sens général : les nitrites, les composés du cyanogène ne favorisent pas la végétation ; les dérivés des sels ammoniacaux soit par privation d'eau, soit par substitution de carbures d'hydrogène à l'hydrogène, peuvent remplacer les sels ammoniacaux eux-mêmes, tant qu'ils ne s'éloignent pas trop de leur type par la complication de leur formule ; car, dans ce dernier cas, ils deviennent inactifs. Ce chi-

(1) *Comptes rendus*, t. XLVII, p. 807.
(2) *Annales de chimie et de physique*, 3[e] série, t. XLIX, p. 168.
(3) *Comptes rendus*, t. XXXI, p. 578, et t. XXXV, p. 650.

miste a encore reconnu que les diverses substances actives, à égalité d'azote, ne sont pas également efficaces, que, par exemple, les nitrates produisent plus d'effet sur la végétation que le chlorhydrate d'ammoniaque, et ce dernier plus encore que l'oxalate. Enfin, il a trouvé un rapport constant entre les effets numériques de différents sels ammoniacaux et ceux de leurs dérivés de même ordre (1). Il paraît admettre que l'arrangement moléculaire des éléments joue le principal rôle dans le mode d'action de ces composés; il indique même les effets des composés azotés sur la végétation comme un moyen propre à conduire à la formule rationnelle de ces corps. Cette hypothèse ingénieuse paraît s'accorder avec l'ensemble des faits observés; elle explique pourquoi les dérivés du cyanogène se montrent inactifs comme ce radical; pourquoi tous les composés de l'ammoniaque sont moins favorables à la végétation que ceux de l'acide nitrique, et pourquoi les dérivés de même ordre produisent des effets, qui sont en rapport constant avec ceux de leurs types, et qui diminuent à mesure qu'ils s'éloignent de ces types. Mais elle n'explique pas aussi facilement pourquoi des composés aussi différents par leur formule que l'acide nitrique et l'ammoniaque, se rapprochent tellement par leurs effets sur la végétation, tandis que l'urée et l'éthylurée, si semblables par leur constitution chimique, sont si éloignés par leurs propriétés physiologiques.

J'admettrais plus volontiers que l'acide nitrique et l'ammoniaque sont les seuls composés dont l'azote soit directement assimilable, et que le mode d'action de tous les autres composés azotés sur les plantes est lié à la décomposition de ces corps en acide nitrique ou en ammoniaque, et aux produits secondaires qui accompagnent cette décomposition. Cette explication me semble plus en harmonie avec les faits généraux représentés par la loi fondamentale posée par M. Dumas. D'ailleurs, elle me paraît d'accord avec les faits signalés par M. G. Ville jusque dans les moindres détails : si les nitrates et les différents sels ammonia-

(1) *Comptes rendus*, t. LVII, p. 464.

caux ne produisent pas des effets *numériquement* identiques, les acides ou les bases que ces composés mettent en liberté lorsque l'azote les abandonne, ne sont probablement pas étrangers à ce résultat, car on ne peut guère douter (comme on le verra plus loin) de l'influence de l'acidité et de l'alcalinité des milieux sur la végétation. Les autres composés que M. G. Ville a reconnus favorables à la végétation sont ceux qui se rapprochent le plus de l'ammoniaque, et qui paraissent les plus propres, dans les conditions où ils étaient placés, à se décomposer en donnant de l'ammoniaque, sans dégager trop de substances nuisibles aux végétaux : si le carbonate d'ammoniaque et l'urée ont exercé des effets rigoureusement identiques, et si l'éthylurée s'est montrée inactive, faut-il s'en étonner? M. Van Tieghem n'a-t-il pas démontré que l'urée, abandonnée à elle-même, dans les conditions des expériences que nous venons de rappeler, se transforme simplement en carbonate d'ammoniaque, tandis que l'éthylurée reste inaltérée (1)? Au reste, je n'attacherai pas à ces idées préconçues plus d'importance qu'elles ne méritent et je m'empresse de revenir à l'étude positive des faits.

Influence des éléments minéraux sur la végétation. — Les principes de l'air et de l'eau avec l'élément azoté, ne suffisent pas à donner à la végétation toute la vigueur qu'elle peut acquérir dans les milieux artificiels. Déjà le prince de Salm avait réussi à l'activer en ajoutant aux composés azotés des éléments minéraux sous forme de sels plus ou moins complexes. M. G. Ville chercha à donner à ce résultat la netteté qui lui manquait en démontrant qu'on peut accroître le poids des récoltes dans le rapport de 2 à 1, en donnant pour auxiliaire au principe azoté un mélange de plusieurs sels minéraux (2). Mais les conditions de cette expérience étaient complexes, puisque l'élément azoté, au lieu d'être un composé défini, se trouvait était formé de graines de lupins pulvérisées. M. Boussingault (3)

(1) Van Tieghem, *Recherches sur la fermentation de l'urée et de l'acide hippurique*, 1864.

(2) *Comptes rendus*, t. XLV, p. 996.

(3) *Ibid.*, p. 833.

de son côté fit la même expérience, en employant le nitre comme matière azotée, en éloignant davantage les impuretés, et l'addition des matières minérales porta le poids des récoltes de 1 gramme à 20 grammes. Ces matières minérales, il est vrai, étaient formées d'un mélange de cendres et de phosphates; mais de là à leur substituer des sels purs et définis, il n'y avait plus qu'un pas. M. G. Ville (1) le fit; il constata que les récoltes obtenues avec le nitre seul pouvaient devenir beaucoup plus considérables par l'addition des sels suivants : phosphate de chaux, de magnésie, sulfate de chaux, silicate de potasse, silicate de soude, oxyde de fer, chlorure de sodium.

Ces expériences font ressortir et mesurent l'influence favorable qu'exerce *un mélange d'éléments minéraux* sur le poids des récoltes *en présence d'un composé défini de l'azote, et des éléments de l'air et de l'eau.*

Il ne reste plus qu'à rechercher quels sont les composés définis de ce mélange auxquels ces effets doivent être attribués.

Le même chimiste (2) annonça, en 1858, que la suppression des acides (phosphorique, sulfurique, chlorhydrique) réduit la récolte à 1/35e du poids obtenu avec l'engrais complet, et que la suppression des alcalis (potasse et soude) abaisse considérablement le poids des récoltes.

Ces nombres ne laissent aucun doute sur l'efficacité des acides et sur celle des alcalis du mélange minéral dont on a fait usage; mais il importait de déterminer les éléments actifs de ces mélanges; tel est le but des expériences qui suivent.

M. Boussingault (3) reconnut le premier en 1857 que par la suppression du phosphate de chaux de l'engrais complet, le poids de la récolte devient vingt fois moindre que la récolte normale. Cependant les essais qui le conduisirent à ce résultat n'étaient pas rigoureusement comparables. En 1861, M. Ville mesura de son côté les effets du phosphate de chaux et en fit

(1) *Comptes rendus,* t. XLVII, p. 438.
(2) *Ibid.*
(3) *Ibid.,* t. XLV, p. 833.

varier les proportions. Le phosphite de chaux et l'hypophosphite de chaux, qu'il substitua au phosphate, demeurèrent inactifs (1). Ces expériences sur les sels de chaux, rapprochées des essais sur les acides (phosphorique, sulfurique, chlorhydrique) démontrent que l'acide phosphorique, à l'état de sel, ajouté à tous les autres éléments de l'engrais complet, accroît les récoltes dans un rapport considérable; que cet effet ne dépend pas de la nature acide de ce composé, mais des éléments qu'il contient, en même temps que de la forme de la combinaison. Elles donnent une idée de la grandeur numérique des effets de cet oxyde. Enfin, elles nous révèlent une analogie frappante entre l'action physiologique des composés du phosphore et des composés de l'azote.

L'attention du même chimiste (2) s'est également portée sur l'action de la potasse sur les plantes : il a obtenu, avec et sans silicate de potasse, des récoltes proportionnelles aux nombres 4 et 1. La soude substituée à la potasse se montra à peu près inactive sur la végétation. Ces résultats, comparés aux effets des alcalis observés précédemment, font ressortir l'influence favorable qu'exerce la potasse sur la végétation, dans un milieu artificiel convenablement choisi, non pas en vertu de son alcalinité comme on eût pu le présumer, mais en vertu de sa constitution propre.

Dans diverses expériences, on a encore supprimé tour à tour les autres éléments de l'engrais minéral complet, savoir: la silice, la chaux, la magnésie, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, la soude, l'oxyde de fer, etc., et les récoltes obtenues ont été entre elles dans des rapports voisins de l'unité ; nous pouvons donc conclure que dans les conditions des expériences précédentes, ces divers oxydes n'ont exercé sur le poids des récoltes qu'une action faible par rapport à celle qui appartient à l'acide nitrique, à l'acide phosphorique, à la potasse, et, par suite, une action négligeable pour une première approximation.

Si l'on compare les plantes obtenues dans les milieux artificiels les plus complets, aux récoltes des terres fertiles, on ne peut

(1) *Comptes rendus*, t. LIII, p. 832.
(2) *Ibid.*, t. LI, p. 246 et 437.

s'empêcher de remarquer que l'art est loin encore d'être parvenu à égaler la nature : en effet, les végétaux obtenus artificiellement, par leurs dimensions, leur poids et surtout le nombre de leurs graines, ont été très-inférieurs aux produits naturels.

Une circonstance particulière de l'intervention de certains éléments dans la végétation mérite d'être remarquée : si l'on ajoute en petite quantité des composés de certains corps simples dans un milieu artificiel, l'accroissement de la récolte sera considérable par rapport au poids du corps simple efficace. Ainsi, d'après certaines expériences, 1 gramme d'azote ajouté dans un milieu à l'état de nitre, peut produire un excédant de récolte de 60 grammes et 1 gramme de phosphore à l'état de phosphate, un excédant de 200 grammes.

État de la question du développement des végétaux dans les milieux artificiels, après les expériences qui précèdent. — Les résultats définitivement acquis à la science par les expériences qui précèdent sont les suivants :

Pour obtenir les plus fortes récoltes qu'on ait réussi jusqu'ici à produire dans les milieux artificiels, il est nécessaire d'ajouter *simultanément* aux éléments de l'air et de l'eau un élément azoté (acide nitrique ou ammoniaque), de l'acide phosphorique et de la potasse, à l'état de sels ; car la suppression de l'un ou de l'autre de ces trois éléments a diminué le poids des récoltes, suivant des rapports à peu près marqués par les nombres :

40, pour l'élément azoté.
30, pour l'acide phosphorique.
4, pour la potasse.

Ces éléments, dans les conditions des expériences précédentes, paraissent à peu près suffisants pour fournir ces récoltes maxima, car la chaux, la magnésie, la soude, l'oxyde de fer, la silice, l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, ajoutés aux premiers éléments, se sont montrés à peu près inactifs.

Les proportions d'azote, de phosphore, de potassium, qui interviennent dans la formation d'un certain poids de plante, sont faibles par rapport à ce poids.

Enfin, les récoltes obtenues jusqu'ici dans les milieux artificiels sont très-inférieures en poids à celles des terres fertiles.

Ces études sont cependant encore incomplètes.

En effet, dans toutes ces expériences, l'erreur maxima d'expérimentation n'a pas été déterminée ; on ne sait donc pas exactement jusqu'à quel point on peut compter sur les nombres obtenus.

Il eût été important de rechercher l'influence de l'alcalinité ou de l'acidité du sol sur la végétation, influence qu'il est bien difficile de mettre en doute, comme on le verra plus loin : or, en faisant varier les éléments salins du sol, on a presque toujours fait varier les propriétés acides ou alcalines du milieu. Quelle part cette influence a-t-elle eue dans les résultats? Il est impossible de le préciser ; mais c'est à elle sans doute qu'il faut rapporter plusieurs faits singuliers, tels que les effets nuisibles des alcalis en l'absence des acides (1).

Souvent on a supprimé à la fois plusieurs éléments, par exemple la silice et la potasse, l'acide phosphorique et la chaux : or, pour mesurer exactement l'effet de chaque oxyde salin sur les végétaux, il faudrait le supprimer seul.

Il serait donc utile, en tenant compte de ces diverses circonstances, de rechercher à nouveau les effets de la silice, de la chaux, etc., sur la végétation ; de mesurer avec plus de précision les effets de l'azote, de l'acide phosphorique, de la potasse ; de faire varier les quantités de ces éléments, de les remplacer par d'autres composés analogues par leur formule ou par leurs radicaux. Enfin, ces recherches devraient être appliquées successivement à des végétaux très-différents, afin de comparer les milieux artificiels propres au développement de chacun d'eux.

Ce travail compléterait la série d'expériences qui se rattachent directement au progrès de la méthode synthétique qu'on a réalisé, par l'addition d'un mélange convenable de matières salines aux éléments de l'air et de l'eau. Mais alors la voie semée de découvertes que nous avons parcourue jusqu'ici serait-elle définitive-

(1) *Comptes rendus*, t. XLVII, p. 438, et t. LI, p. 246.

ment fermée, ou bien pourrait-on espérer accomplir encore un nouveau progrès, c'est-à-dire découvrir de nouveaux éléments qui, ajoutés à ceux que ces expériences auraient reconnus essentiels à la végétation, élèveraient le poids des récoltes dans un rapport assez considérable? C'est là une question qu'il est impossible de décider à priori, mais qu'on pourrait essayer de résoudre par deux moyens : d'une part, certains éléments essentiels à la végétation se trouvaient peut-être dans les impuretés des sols artificiels dont on s'est servi jusqu'ici, en quantités petites, mais suffisantes pour le développement des végétaux : dès lors, leur influence sur le poids des récoltes a dû échapper à toutes les recherches, et l'on parviendrait à la manifester *par l'emploi de matières mieux purifiées :* cette hypothèse n'a rien d'invraisemblable, mais ce n'est après tout qu'une hypothèse. D'autre part, il est permis de croire qu'en ajoutant aux sols artificiels, jusqu'ici employés, *certains composés chimiques*, on augmenterait notablement le poids des récoltes : on s'expliquerait par là l'infériorité des récoltes des milieux artificiels dont on s'est servi sur les récoltes des terrains naturels ; mais on peut également expliquer cette différence, en admettant que les mélanges minéraux artificiels sont moins propres à la nutrition des végétaux que les composés organiques de la nature. Enfin, au point de vue de la pratique, il nous restrait à calculer les bénéfices que les cultivateurs peuvent retirer de l'emploi des engraïs complémentaires, sans altérer par la suite la nature du sol.

Des sels nuisibles à la végétation.— En regard des substances chimiques qui favorisent le développement des végétaux se placent les substances qui leur nuisent, c'est-à-dire les poisons. On ignore encore les lois générales de l'action chimique de ces corps sur les végétaux. Cependant plusieurs chimistes ont étudié les effets physiologiques d'un grand nombre de poisons, qui se rencontrent parmi les composés chimiques les plus divers. Je me contenterai de remarquer qu'à côté de sels minéraux éminemment favorables à la végétation, il s'en trouve d'autres qui lui sont des plus funestes; tels sont : les sels d'argent et de mercure

qui tuent les plantes à la dose de 1/1000; les sels d'or et de platine, qui sont moins énergiques; les sels de cuivre, d'étain, de plomb, d'arsenic, etc., qui paraissent moins actifs que les sels précédents.

Ces sels ont ceci de particulier qu'ils manifestent leur action à petite dose, comme les sels utiles, et qu'ils sont également funestes aux animaux (1).

Applications diverses de la méthode synthétique. — Tous ces résultats scientifiques prouvent qu'il existe une relation entre le développement d'un végétal dans le milieu qui l'entoure, et la présence dans ce milieu de certains corps simples sous certaines formes et en certaines quantités :

C'est ainsi que la méthode synthétique nous conduit à l'idée d'appliquer les plantes à l'analyse chimique (2). Par exemple, si l'on prépare deux sols artificiels contenant tous les éléments essentiels à la végétation moins un ; si dans l'un d'eux on ajoute la matière à analyser, et si l'on sème dans ces deux milieux des graines identiques, de la comparaison des récoltes on pourra conclure si l'élément supprimé dans les deux sols artificiels existe dans la matière soumise à l'analyse, et à quel état, et en quelle quantité. Cette méthode ne présente quelque avantage sur les autres procédés que dans un seul cas : l'analyse chimique des terrains au point de vue de la végétation. En effet, l'action d'un corps simple du sol sur un végétal résulte de la nature de ce corps simple, de la nature des composés dont il fait partie, de leurs propriétés physiques et des réactions qu'ils peuvent subir : ce sont ces éléments multiples que l'analyse chimique n'atteint souvent qu'avec peine et incomplétement. Mais l'embarras

(1) *Comptes rendus*, t. XVII, p. 112.

(2) La méthode analytique conduit également à une autre application des plantes à l'analyse chimique, dont l'industrie s'est depuis longtemps emparée : elle consiste à profiter du pouvoir d'absorption des végétaux à l'égard de certains sels du sol, pour les condenser dans des mélanges plus simples que les matières premières et opérer ainsi une première sélection des éléments de ces matières.

augmente encore lorsqu'on veut interpréter les résultats analytiques, et en déduire l'action du corps simple sur les végétaux. Aussi l'insuffisance de l'analyse chimique ordinaire appliquée à l'agriculture est-elle proclamée par tous les agronomes. Au contraire, l'analyse par la végétation détermine directement l'effet produit sur les plantes par chaque principe du sol; elle va droit au but et dispense de toute interprétation. En outre, comme on l'a fort bien remarqué à propos des phosphates, les végétaux peuvent souvent déceler dans le sol des quantités fort petites de certaines substances qui échapperaient peut-être à l'analyse ordinaire. Mais il est à peine besoin d'ajouter que l'analyse du sol par les plantes est un procédé pénible, d'une durée considérable, d'une exactitude parfois douteuse.

Un des premiers, le prince de Salm, s'appuyant sur les résultats de la méthode synthétique, signala en termes assez vagues la possibilité d'appliquer les végétaux à l'analyse chimique, et l'utilité qu'offrirait cette méthode pour suppléer à l'analyse par les réactifs, dans la recherche de la composition des terres arables (1).

M. Boussingault donna à cette méthode un caractère vraiment scientifique en l'appliquant avec beaucoup de rigueur à la solution d'une question très-controversée de chimie agricole : il démontra que, de tous les composés azotés de la terre végétale, l'acide nitrique et l'ammoniaque sont à peu près les seuls qui soient immédiatement aptes à l'assimilation.

Nous avons vu comment la méthode mixte rattache empiriquement certains effets complexes des amendements, des engrais, des assolements, à des faits d'observation plus simples; mais elle ne les atteint pas tous pour les ramener sûrement à des principes généraux : en un mot, elle ne conduit pas à une théorie rationnelle et complète de la pratique agricole. Cette œuvre est réservée à la méthode synthétique, qui renferme en elle-même tous les principes de cette théorie. Admettons, en effet, que l'on connaisse le milieu artificiel propre au développement de chaque

(1) *Comptes rendus*, t. LVII, p. 272.

espèce de plante ; qu'en outre, on ait déterminé la composition des engrais et des amendements divers : on pourra reconnaître par l'analyse si un terrain possède tous les éléments nécessaires à la vie d'un végétal ou s'il manque de quelques-uns : c'est le fondement de la théorie des assolements ; on connaîtra également quels principes essentiels à un végétal, un engrais ou un amendement ajoutera au sol, et par suite quelle en sera exactement l'efficacité. C'est ainsi que l'on rapporte aujourd'hui les effets généraux des engrais à l'élément azoté principalement, ensuite à l'acide phosphorique, et enfin à la potasse. C'est ainsi qu'on explique les effets des assolements par l'influence prédominante qu'exercent tour à tour ces divers éléments sur diverses cultures. Par exemple, les avantages que trouve le cultivateur à faire alterner les céréales et les prairies artificielles reposent sur ce fait, démontré par la méthode synthétique, que les céréales prennent surtout dans le sol de l'azote, tandis que le trèfle, la luzerne, demandent principalement au sol des matières minérales.

Mais la théorie chimique de la pratique agricole réside-t-elle tout entière dans les effets de ce petit nombre d'éléments salins, qui constituent jusqu'ici un engrais artificiel suffisant à développer les végétaux? Je ne le pense pas.

Il faut certainement tenir compte, dans la théorie de la pratique agricole, de diverses circonstances secondaires, telles que les propriétés physiques du sol et du sous-sol, ainsi que l'a démontré M. Chevreul, le mode de décomposition des matières organiques, le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu, qui influe sur cette décomposition, la nature des combinaisons des éléments, etc., etc.: or l'appréciation des effets de toutes ces circonstances exige l'étude complète du milieu artificiel propre au développement des végétaux. D'ailleurs, tant qu'on n'aura pas réussi à obtenir dans un milieu artificiel des plantes aussi vigoureuses que dans les terrains fertiles, certains effets du sol végétal sur les plantes échapperont forcément à la méthode synthétique. Or j'ai posé en principe que, dans l'état actuel de la science, on ne peut décider si ce progrès est réalisable.

Le système des engrais chimiques complémentaires (1) est encore une application des résultats de la méthode synthétique : l'auteur emploie comme engrais en agriculture les sels mêmes dont la méthode mixte a déjà reconnu l'utilité. Mais, au lieu de prendre pour guides les résultats empiriques fournis par les sels qu'on a essayés sur diverses cultures, il appuie tout son système sur la composition même des milieux artificiels propres au développement des végétaux. Dès lors, quatre éléments : l'acide nitrique ou l'ammoniaque, l'acide phosphorique, la potasse, la chaux, ajoutés indéfiniment au même terrain en proportions variables avec chaque culture, suffisent, dans ses idées, pour remplacer tous les autres engrais, et assurer à la terre une fécondité inépuisable pour toutes les cultures.

J'ai exprimé ailleurs mon opinion sur l'usage des sels purs en agriculture. J'ajouterai qu'il ne me paraît pas bien démontré que l'azote, l'acide phosphorique, la potasse, la chaux, constituent seuls un engrais complet et suffisant. Car il est certain qu'un sol artificiel, formé de ces éléments, ne suffit point à produire d'abondantes récoltes. On répondra sans doute qu'il existe toujours dans le sol, en quantité surabondante, des éléments supplémentaires qui, avec les premiers, constituent un engrais parfait. Mais ce n'est là qu'une pure hypothèse que ne justifient pas assez les résultats obtenus par les engrais chimiques, sur quelques terres très-perméables, pendant plusieurs années consécutives. Car il n'est pas impossible que le sol contienne un élément nécessaire aux végétaux, en quantité suffisante pour trois ou quatre récoltes, mais insuffisante pour un plus grand nombre. Si donc cet élément n'est jamais ramené dans le sol par un moyen quelconque, il manquera forcément tôt ou tard, par l'effet de la culture, et le sol deviendra stérile. A mon avis, la méthode synthétique n'offrira une base assurée à la pratique agricole que le jour où l'on connaîtra le milieu artificiel propre à assurer le développement maximum des végétaux. Si ce but peut être atteint, et rien

(1) Voyez les *Conférences agricoles faites au champ d'expériences de Vincennes*, par M. G. Ville.

jusqu'ici ne le prouve, l'agriculture entrera d'un pas ferme dans une voie nouvelle : le praticien abandonnera l'usage ordinaire des engrais et des assolements fondé sur l'empirisme: il cultivera indifféremment les espèces les plus profitables; et il déterminera pour chaque plante le poids et la composition de l'engrais le mieux approprié, d'après la composition du sol et d'après la composition du milieu artificiel propre à cette plante: ainsi, il atteindra sans aucune perte le rendement maximum des récoltes. S'il veut en même temps obtenir le meilleur résultat économique, il composera ces engrais artificiels non pas exclusivement avec des sels purs, mais indifféremment avec des engrais naturels, des matières premières ou des résidus industriels, des sels chimiques même, suivant que les uns ou les autres seront économiquement plus avantageux.

Ce progrès, M. Liebig le pressentait déjà en 1841, et le regardait comme un besoin de notre époque. Il en apprécia très-exactement le caractère essentiel :

« Et alors, dit-il, l'agriculteur pourra, comme dans une ma-
» nufacture bien organisée, tenir des livres pour y inscrire, sui-
» vant les récoltes, la nature et la quantité exacte des substances
» qu'il doit porter sur chacune de ses terres pour en maintenir
» la fertilité (1). »

Conclusions générales. — Les faits généraux dans lesquels se résume l'état de la chimie des végétaux après les nombreuses découvertes de la méthode synthétique, me paraissent assez exactement exprimés par les propositions suivantes :

Il est possible de faire développer les végétaux dans des milieux artificiels exclusivement formés de substances chimiques de composition définie.

Pour obtenir les récoltes maxima que comportent ces milieux, il est nécessaire de réunir ensemble l'oxygène, l'acide carbonique, l'eau, l'acide nitrique ou l'ammoniaque, l'acide phos-

(1) Liebig, *Chimie appliquée à l'agriculture*, p. 298.

phorique, la potasse ; car la suppression de l'un quelconque de ces éléments diminue considérablement le poids des récoltes.

Les récoltes produites par les milieux artificiels n'atteignent jamais la vigueur des récoltes des terrains naturels fertiles.

Les effets propres de l'acide carbonique, de l'eau, de l'acide nitrique, de l'acide phosphorique, de la potasse, etc., doivent être attribués respectivement : au carbone, à l'hydrogène, à l'azote, éléments essentiels des végétaux ; au phosphore, au potassium, qu'on remarque aussi dans leur organisme : c'est en dégageant une partie de leur oxygène que ces oxydes fixent dans les plantes leurs radicaux.

Plusieurs de ces radicaux interviennent en quantités fort petites par rapport au poids de plante qu'ils contribuent à former.

L'acide carbonique, l'eau, l'acide nitrique, produisent les principes ternaires et l'albumine des végétaux ; l'acide phosphorique, la potasse, etc., forment des composés encore mal déterminés.

Ces faits confirment la loi de la statique chimique qui représente les végétaux comme formés par la réduction des oxydes minéraux les plus simples ; ils la complètent en y faisant entrer de nouveaux éléments : l'acide nitrique, l'acide phosphorique, la potasse.

La méthode synthétique a encore posé les principes fondamentaux de la chimie agricole, en même temps qu'elle permet de substituer à l'empirisme des procédés rationnels d'agriculture.

La méthode analytique et la méthode synthétique avaient déjà indiqué plusieurs des résultats que je viens d'énumérer, mais ces faits fort incomplets, souvent pressentis plutôt que démontrés, sans liens entre eux, sans interprétation positive, ne pouvaient servir de bases à une théorie ; au contraire, la méthode synthétique, en réduisant les phénomènes de la végétation à un petit nombre d'éléments simples, a pu en saisir toutes les relations, et jeter les fondements d'une théorie inébranlable, quoique inachevée, de la chimie des végétaux.

Aussi cette méthode, beaucoup plus parfaite que les deux pré-

cédentes, n'a reçu ses derniers perfectionnements que très-tard, puisque les travaux entrepris en Angleterre, en Allemagne et en France, et qui en sont l'expression la plus avancée, ont été exécutés dans ces vingt dernières années.

CHAPITRE II.

ÉTUDE DES VÉGÉTAUX MICROSCOPIQUES.

I. — Méthode analytique.

Analyse des végétaux et des milieux dans lesquels ils vivent. — Parmi les espèces nombreuses d'organismes inférieurs qui peuplent les matières d'origine organique abandonnées à elles-mêmes, les unes sont douées de mouvement spontané, les autres en sont dépourvues ; mais au point de vue chimique ces deux classes d'êtres vivants ne diffèrent point essentiellement, et sont fréquemment en rapport ; aussi, bien que j'aie surtout en vue l'étude des végétaux microscopiques, il m'arrivera incidemment de parler des animalcules.

Dans les études chimiques relatives aux grands végétaux, on a suivi le développement d'un petit nombre d'individus d'espèce connue ; il n'en est plus de même ici : les recherches chimiques ont pour objet les phénomènes qui résultent de l'apparition dans un milieu d'un nombre immense d'individus d'espèces différentes qui ne peuvent être déterminées à première vue ; cependant on doit se préoccuper avant tout de reconnaître l'espèce du végétal qu'on étudie, parce que les phénomènes chimiques de la vie varient avec l'espèce : l'examen microscopique du végétal offre pour cette détermination des caractères simples et précis.

C'est par ce moyen qu'on a étudié les variations nombreuses des espèces qui vivent dans les milieux naturels. Elles changent avec la nature du milieu : le pain humide se couvre ordinairement de Mucédinées ; les liquides alcooliques de Mycodermes ; les infusions de feuilles et de foin se peuplent d'Animalcules ; la Torulacée qui naît dans le jus du raisin diffère de celle qu'on observe souvent dans l'urine en putréfaction. Les organismes ne sont pas les mêmes aux divers points d'un même milieu : à la

surface on pourra observer des Mycodermes ; dans la masse des Animalcules ; au fond des Torulacées. Ils varient encore avec le temps : ainsi, dans une infusion de foin, naîtront successivement des monades, des vibrions et des bactéries; puis des infusoires ciliés, et à la surface des moisissures. Mais ce qu'il faut remarquer principalement, c'est que généralement une substance organique est peuplée en même temps par des organismes très-nombreux et très-divers.

La composition chimique des végétaux microscopiques rappelle celle des grands végétaux : la levûre de bière, le plus simple de ces organismes, est formée principalement de cellulose, de matières albuminoïdes, de matières grasses, d'après les analyses de M. Payen. Les cendres de ce végétal, examinées par Mitscherlich, lui ont fourni de l'acide phosphorique, et de la potasse en abondance, moins de magnésie, très-peu de chaux, et une quantité de soude inappréciable (1).

Ces résultats n'ont rien qui doive nous surprendre, puisque les êtres microscopiques respirent le même air que les grands végétaux, puisqu'ils vivent soit dans les substances mêmes de ces végétaux, soit dans les matières animales qui en sont formées : cette remarque indique assez quelle est la composition des milieux où se développent les organismes inférieurs, et il ne me reste plus, pour les faire connaître complétement, qu'à parler des curieuses transformations qu'ils subissent lorsque, abandonnés à eux-mêmes, ils se peuplent d'êtres vivants.

Qu'une matière organique abandonnée à elle-même dégage de l'eau, de l'acide carbonique ou même de l'oxygène, on n'en sera nullement surpris; on comparera immédiatement ces produits à ceux de la respiration des animaux ou des plantes, et on les rapportera, par analogie, à la vie des organismes.

Mais les chimistes ont été singulièrement frappés de voir les matières organiques donner souvent naissance à divers composés chimiques très-différents des éléments respiratoires : ils ont appelé ces phénomènes fermentations, et lorsque les fermentations

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LVIII, p. 374.

ont manifesté une odeur fétide, ils les ont mises à part sous le nom de fermentations putrides ou putréfactions ; ces définitions reposent du reste sur des caractères purement extérieurs, et ne prétendent pas pénétrer la nature intime des phénomènes.

Certaines matières organiques fournissent, dans leur fermentation naturelle, des produits constants et en petit nombre. Comme exemples de ces phénomènes, je citerai : la fermentation alcoolique des jus sucrés caractérisée par la formation de l'alcool ; la fermentation acétique des liquides alcooliques qui produit de l'acide acétique ; la fermentation gallique qui forme l'acide gallique obtenu par Scheele dans le pourrissage de la noix de galle ; la fermentation ammoniacale qui développe dans l'urine de l'ammoniaque, et sur laquelle Boerhaave appela le premier l'attention des chimistes ; etc., etc.

Il est rare d'ailleurs que plusieurs de ces composés n'apparaissent pas dans le même milieu, et alors la fermentation, plus ou moins complexe, est en même temps très-variable. C'est ainsi que M. Béchamp a trouvé dans l'urine putréfiée : de l'alcool, de l'acide acétique, du carbonate d'ammoniaque, etc. (1).

L'étude immédiate de la fermentation consiste à rechercher l'équation qui lie les composés du milieu qui se transforment aux produits de la démodification. La comparaison des formules et le dosage des composés du milieu, la connaissance de leurs réactions chimiques particulières, peuvent, dans les cas de fermentations simples, conduire à cette équation. Mais dans le cas général, lorsque le milieu qui fermente est complexe, lorsque les produits de la transformation sont nombreux, outre que les éléments gazeux de la réaction échappent à l'analyse, les autres sont difficiles à atteindre, et éminemment variables d'un essai à un autre ; dès lors l'équation qui unit tous ces éléments reste indéterminée : aussi tant qu'on se servit exclusivement de la méthode analytique, les équations de la plupart des fermentations furent incertaines ou incomplètes.

Des relations des végétaux microscopiques avec les éléments du

(1) *Comptes rendus*, t. LXI, p. 374.

milieu où ils vivent. — Je vais, en m'appuyant sur les résultats qui précèdent, rechercher les relations qui existent entre le végétal et le milieu qui l'entoure.

La méthode analytique ne peut, en général, nous conduire qu'à des hypothèses sur l'origine des corps simples essentiels aux végétaux microscopiques : tout ce qui a été dit à cet égard sur les grands végétaux s'applique ici sans restriction.

Les végétaux inférieurs, si éloignés par la simplicité de leur structure cellulaire de la complication anatomique des végétaux supérieurs, nous ont présenté avec eux une analogie frappante sous le rapport de la composition chimique : les corps simples nécessaires ou utiles à ces deux groupes d'êtres organisés sont donc probablement les mêmes pour la plupart ; le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote en sont les éléments essentiels ; le phosphore et le potassium sont sans doute après eux les plus importants. Le rôle de ces éléments est aussi très-analogue dans les grands et dans les petits végétaux, puisque parmi leurs principes immédiats nous voyons de part et d'autre figurer au premier rang la cellulose, la graisse, l'albumine. Toutefois, par leur richesse en matières albuminoïdes, les végétaux microscopiques se rapprocheraient davantage des animaux. Mais les déductions de l'analyse relatives à ces petits végétaux comportent les restrictions signalées dans l'étude des grands végétaux, ou même des restrictions encore plus sérieuses, car la similitude de composition des végétaux microscopiques et de leur milieu nutritif peut faire craindre que l'*absorption physique* n'ait une part considérable dans la composition chimique de ces végétaux.

Parmi les éléments nécessaires à la multiplication par voie naturelle aux végétaux supérieurs se place en première ligne la *graine*, tandis que les organismes microscopiques présentent cette particularité, qu'ils se multiplient par scissipariité ou qu'ils apparaissent naturellement dans des milieux dans lesquels on n'aperçoit pas le moindre germe.

L'hypothèse de la génératien spontanée semble donc confirmée par l'étude des variations des espèces vivantes dans les milieux d'origine organique : n'avons-nous pas vu que ces

espèces sont en relation avec la nature chimique des milieux, avec la position qu'elles occupent dans ces milieux, avec les autres espèces qui les ont précédées ? Or la nature des germes d'un milieu ne saurait être liée à ces conditions ; on est donc conduit à admettre que les organismes inférieurs peuvent se former sans germes par les substances inorganisées. La succession d'espèces différentes dans un même milieu offre, surtout dans ce cas, un argument spécieux ; car pour peu que l'imagination s'y prête, l'observateur se persuadera qu'il voit les organes de nouvelles espèces naître de ceux des espèces qui les ont précédées, et il conclura à la transformation des organismes les uns dans les autres. C'est ainsi que Turpin a vu les globules du lait s'allonger pour former le mycélium du *penicillium* (1), que M. Pouchet a vu le mouvement fermentescible des infusions organiques provoquer la formation des monades, vibrions, bactéries, etc., de la membrane proligère, puis ces petits êtres se rassembler pour former l'œuf spontané d'où naissent les infusoires ciliés (2).

Cherchons à interpréter rigoureusement ces faits : ils prouvent qu'il y a une relation entre le développement d'une espèce dans un milieu et la nature chimique de ce milieu, les rapports du milieu avec l'atmosphère, la nature des espèces qui y ont vécu précédemment ; mais ils ne prouvent rien de plus.

Or, toutes les relations de ce genre empêchent-elles ces êtres vivants d'avoir une relation nécessaire avec le germe, élément indépendant de ceux que j'ai indiqués ? Évidemment non. N'en est-il pas de même des végétaux supérieurs ? N'exigent-ils pas, pour se développer, de certains milieux, de certaines conditions atmosphériques, etc., variables d'une espèce à une autre ? Et pourtant personne ne songe à contester pour ces êtres l'absolue nécessité d'un germe.

La méthode analytique conduit donc scientifiquement à l'hypothèse des *générations spontanées*, mais elle laisse la question

(1) *Comptes rendus*, 1837, t. V, p. 822.

(2) Pouchet, *Hétérogénie*, ou *Traité de la génération spontanée*, 1859, et *Comptes rendus*, t. LIX, p. 277.

indécise : cette méthode que d'ingénieux naturalistes ont cru devoir substituer à la méthode expérimentale, afin de ne pas altérer par les opérations artificielles le jeu des forces de la nature, ne saurait nous éclairer sur l'intervention du germe dans les phénomènes de la vie, parce qu'elle n'atteint directement que des éléments sans aucune relation avec le germe.

La méthode analytique nous révèle très-distinctement deux ordres de phénomènes au sein des milieux organiques abandonnés à eux-mêmes : la transformation d'une partie des substances qui les composent dans les produits de la fermentation et la participation d'une autre partie à la formation des organismes vivants. Suivre dans tous leurs détails ces métamorphoses multiples est un travail fort délicat qui exige des ressources supérieures à celles de la méthode analytique. Mais toutes ces recherches sont subordonnées à cette question fondamentale : Existe-t-il une relation entre la transformation des substances d'un milieu par fermentation, et le développement des organismes dans ce milïeu, ou bien ces deux phénomènes sont-ils indépendants? La solution de ce problème n'est pas du ressort de l'analyse. Cependant les variations sans nombre des produits de la fermentation d'un milieu à un autre, les variations non moins grandes des espèces vivantes de ces milieux, sembleraient écarter l'idée d'une relation quelconque entre les phénomènes de la vie et les fermentations.

Applications de la méthode analytique. — Un grand nombre d'applications pratiques se rattachent aux résultats qui précèdent.

La fabrication des liquides alcooliques, du vinaigre, du fromage, de l'acide gallique, de l'acide lactique, le traitement des engrais organiques, etc., reposent sur la production de composés spéciaux par la fermentation.

Certaines maladies épidémiques des végétaux ou des animaux appartiennent encore à l'ordre des phénomènes que nous venons d'étudier : je veux parler de ces maladies qui sont caractérisées par une altération des matières de l'organisme, c'est-à-

dire par une transformation de certains composés en d'autres composés, et par un développement simultané d'êtres organisés microscopiques dans les substances en voie d'altération. La muscardine des vers à soie, l'oïdium de la vigne, la maladie des pommes de terre, etc., sont des exemples bien remarquables de ces épidémies. A combien de recherches, inspirées par la méthode analytique, la maladie de la vigne et celle des pommes de terre n'ont-elles pas donné lieu (1)? Cependant à quel résultat scientifique ont abouti toutes ces observations, sinon à des hypothèses, à des discussions qui avaient invariablement pour point de départ cette question : L'altération du végétal est-elle l'effet ou la cause du développement des organismes? Question oiseuse et vague issue de notions très-fausses sur la méthode scientifique. Car les causes et les effets, ou plus exactement les forces et les mouvements, *dans les phénomènes de chimie et de physiologie*, échappent à l'observation. Ce que l'expérience peut atteindre, ce sont les phénomènes, et les circonstances de ces phénomènes. Voici donc la question fondamentale à résoudre relativement à ces maladies : Existe-t-il une relation nécessaire entre la transformation des substances de l'être malade en d'autres substances, et le développement du parasite. Nous sommes ainsi ramenés à une question que nous avons formulée précédemment, et que la méthode analytique est impuissante à résoudre.

Caractères de la méthode analytique. — En résumé, la méthode analytique se retrouve ici avec les caractères qu'elle nous a offerts dans l'étude des grands végétaux : elle est apte à nous révéler des faits intéressants ; mais elle ne peut réussir à en saisir les rapports certains et par suite à fonder une théorie chimique du développement des organismes vivants.

(1) Voyez les *Comptes rendus*, principalement : t. XXI, 1845 ; t. XXII, 1846 ; t. XXIII, 1846 ; et aussi : t. XXXIII, 1851 ; t. XXXVI, 1853 ; t. XXXVII, 1853 ; t. XXXVIII, 1854 ; t. XXXIX, 1854 ; t. XL, 1855 ; t. XLI, 1855.

II. — Méthode mixte.

Dans les études qui se rattachent à cette méthode, on a fait vivre invariablement les organismes microscopiques dans les substances animales ou végétales : c'est en faisant varier arbitrairement les autres éléments de la végétation, qu'on a pu apprécier l'influence de chacun d'eux sur les phénomènes de la vie.

Intervention nécessaire du germe dans la formation des êtres organisés inférieurs. — Parmi ces éléments, le *germe* se place en première ligne : si des savants distingués ont soutenu que la matière peut s'organiser sans germe, c'est qu'ils ont trouvé dans l'application de la méthode mixte des faits nombreux, qui leur ont paru inconciliables avec l'intervention de cet agent mystérieux : ce sont ces faits que je vais exposer sommairement.

On sait la controverse mémorable à laquelle Spallanzani et Needham, au XVIII[e] siècle, consacrèrent leurs efforts dans le but d'éclairer la question de la génération des êtres (1). Les expériences sur lesquelles était fondée cette controverse s'accordèrent toutefois en un point : c'est que les organismes du dernier ordre peuvent apparaître dans des infusions en vases clos chauffées pendant une demi-heure à la température de l'ébullition. Plus tard, Schwann, Schultze, Schrœder et Dusch reprirent ces expériences dans de meilleures conditions (2) : ils soumirent des liquides organiques à une ébullition prolongée, mais ils eurent soin de restituer à ces liquides l'air atmosphérique indispensable à l'entretien de la vie, après l'avoir fortement chauffé ou après l'avoir fait passer à travers la potasse, l'acide sulfurique ou le coton. Quelque traitement que l'air eût subi, les infusions furent quelquefois fécondes. Plus récemment, M. Pouchet (3) présenta à l'appui de la doctrine de l'hétérogénie un ensemble d'expé-

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXIV, p. 7.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXIV, p. 14.

(3) Pouchet, *Hétérogénie, ou Traité de la génération spontanée*, 1859.

riences variées et ingénieuses qui rappelèrent d'une façon inattendue l'attention des savants sur ce problème. Or il confirma par ses observations personnelles les résultats de Schwann, Schultze, etc., sur la fécondité des liquides chauffés en vases clos. C'est donc un fait constant que des organismes peuvent apparaître dans des milieux dont les éléments ont été chauffés à 100 degrés, ou soumis aux réactifs les plus énergiques, ou filtrés sur le coton : l'hypothèse que des germes ont pu pénétrer et rester intacts jusque dans ces milieux, n'est-elle pas en contradiction avec les propriétés connues des germes ordinaires?

M. Pouchet a étudié également l'influence de l'air naturel ou de matières organiques naturelles, nullement modifiés, sur le développement des germes dans un milieu, et des faits observés il a tiré, à l'appui de l'hétérogénie, d'autres arguments moins directs, mais non moins graves, qui ont pour point de départ une expérience de Gay-Lussac, devenue célèbre :

Gay-Lussac (1) a constaté qu'un grain de raisin, placé dans une cloche exactement remplie de mercure, et écrasé ensuite, ne fermente pas; mais vient-on à introduire dans la cloche la moindre bulle d'air, la fermentation se développe, et alors seulement, la levûre alcoolique s'organise. Les partisans de la génération par germe expliquaient ce phénomène en disant que le grain de raisin est dépourvu du germe de la levûre, et que, la bulle d'air apportant ce germe avec elle, la levûre du vin se développe : cette interprétation paraissait seule rationnelle.

Si la moindre bulle d'air contient des germes de la levûre alcoolique, on ne peut guère se refuser à admettre qu'elle contient aussi des germes d'une foule d'autres espèces microscopiques qui peuplent les infusions aussi fréquemment que la levûre. M. Pouchet (2) vérifia d'ailleurs cette conséquence en prouvant que des infusions diverses, fortement chauffées et abandonnées pendant quelques jours à l'air libre, se peuplent bientôt d'une foule d'organismes d'espèces variées. Or si l'atmosphère contenait, dans chacune de ses moindres parties, les germes de

(1) *Annales de chimie*, t. LXXVI, p. 250.

(2) Pouchet, *Hétérogénie, ou Traité de la génération spontanée.*

toutes ces espèces, il devrait être assez imprégné de ces corpuscules pour en être obscurci. Au reste, parmi les germes des êtres inférieurs, il en est qui sont facilement reconnaissables au microscope. Or, M. Pouchet recueillit, par un procédé qui lui est propre, les poussières de l'air, et affirma n'y avoir rien découvert qui ressemblât à des germes. Comment expliquer ces contradictions issues de l'hypothèse de l'intervention des germes dans la vie des petits organismes ?

D'après l'expérience de Gay-Lussac généralisée, les substances organiques naturelles doivent être à peu près dépourvues de germes. Comment donc un liquide naturel, mis en contact avec de l'air calciné, peut-il donner naissance à tant d'espèces différentes? D'autre part, si une bulle d'air contient un si grand nombre de germes, et si un liquide organique en est à peu près dépourvu, comment arrive-t-il, ainsi que l'a fort bien reconnu M. Pouchet, que les espèces vivantes sont plus nombreuses, se développent plus rapidement, à l'air libre, dans un liquide non chauffé que dans un liquide chauffé?

MM. Joly et Musset ont encore étudié l'influence de l'air et des liquides naturels simplement filtrés sur le développement des êtres inférieurs (1) : ils ont puisé directement ces substances dans l'organisme des animaux ou des végétaux, qu'ils ont considérés comme les filtres les plus parfaits qu'on puisse réaliser : cependant ils ont encore vu se produire dans ces conditions des organismes vivants. N'est-il pas bien singulier que des germes puissent traverser ainsi les organes des animaux ou des végétaux?

Sans doute ces objections ne restèrent pas sans réponse; mais on ne parvint à les réfuter qu'à l'aide d'hypothèses aussi peu satisfaisantes que celle qu'il s'agissait de renverser. M. Pasteur comprit que le seul moyen d'éclairer la question consistait à reprendre les expériences qui précèdent par des méthodes plus sévères (2).

A l'aide d'un appareil commode et sûr tout à la fois, M. Pasteur étudia à nouveau le développement des organismes en vases

(1) *Comptes rendus*, t. LI, p. 627 ; t. LIII, p. 369.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXIV, p. 5.

clos, dans des liquides chauffés en contact avec de l'air calciné. L'eau de levûre, chauffée à 100 degrés, ne produisit pas d'organismes. Le lait en produisit dans les mêmes conditions, mais devint stérile à 110 degrés. Ces liquides, par le contact du mercure des laboratoires, se peuplèrent d'êtres vivants. D'ailleurs, les substances rendues stériles par la chaleur redevenaient propres au développement de la vie lorsqu'on y introduisait des germes de végétaux ou d'animalcules. Ainsi, M. Pasteur obtint encore des organismes dans les milieux chauffés, mais il en trouva la cause dans un principe de poids inappréciable, mêlé au mercure ou aux liquides naturels, et capable de résister à la chaleur jusqu'à 110 degrés. Et lorsque M. Pasteur eut démontré que des spores de Mucédinées peuvent rester fécondes après avoir été chauffées à 120 degrés, il n'y eut plus de difficulté à admettre que ce principe pouvait être un germe.

Les causes d'erreur des expériences qui ont précédé celles de M. Pasteur sur l'apparition des organismes en vases clos dans les milieux chauffés, résident donc dans la manipulation des substances sur le mercure et l'emploi d'une température insuffisante. En tenant compte de ces causes d'erreur, on obtient des résultats en complet accord avec l'hypothèse de l'intervention nécessaire des germes dans l'organisation de la matière.

On ne saurait douter de l'exactitude de l'expérience de Gay-Lussac; mais cette expérience réussit parfaitement avec une bulle d'air calciné. C'est donc par quelque effet de son oxygène que l'air agit dans cette circonstance, et non, comme on l'avait supposé, par les germes de levûre qu'il peut contenir. Ainsi, l'expérience de Gay-Lussac a été mal interprétée. Les conséquences que nous en avons tirées sur la distribution des germes dans l'atmosphère et dans les liquides naturels ne sont donc point fondées, et ce point ne peut être éclairé que par des expériences directes.

Pour reconnaître le mode de dissémination des germes dans l'atmosphère, M. Pasteur eut l'idée d'ouvrir en un même lieu un grand nombre de ballons vides d'air, et partiellement remplis d'un liquide chauffé, qu'il fermait ensuite à la lampe. Il re-

connut qu'une partie des ballons ouverts en un lieu quelconque reste stérile, que la proportion des ballons dont le liquide demeuré inaltéré augmente à mesure qu'on s'élève, à mesure que l'air est moins agité (1). Les résultats furent confirmés, d'une manière frappante, par l'ingénieuse expérience des ballons à cols sinueux. On peut donc prélever dans l'atmosphère d'un lieu des volumes d'air très-appréciables qui soient incapables de féconder des liqueurs rendues stériles par la chaleur : le principe de l'air qui ramène la vie dans ces liqueurs est discontinu; c'est un corps fixe extrêmement petit, qui obéit aux lois ordinaires de la pesanteur. Dans l'hypothèse des germes, nous établissons ainsi que l'air contient ces germes disséminés çà et là, au lieu d'admettre qu'il en est encombré.

Mais alors pourquoi M. Pouchet n'a-t-il pas pu en découvrir directement? M. Pasteur, de son côté, a également recueilli les poussières de l'atmosphère (2), en évitant les causes d'erreur du procédé de M. Pouchet, et parmi les corps inorganisés qui composent presque entièrement ces poussières, il a découvert des organismes tout à fait semblables aux spores des petits végétaux. Bien plus, M. Duclaux a maintenu ces organismes sous le microscope dans des liquides appropriés, et il les a vus germer (3). Dans l'hypothèse de l'intervention des germes dans l'organisation des êtres, tous ces faits ne présentent-ils pas un accord admirable?

S'il y a des germes dans l'air en petit nombre, les substances organiques naturelles qui ont séjourné dans l'air doivent nécessairement en contenir un plus grand nombre, et l'on comprend pourquoi ces substances se montrent fécondes dans l'air calciné, et pourquoi dans l'air naturel elles sont plus riches en espèces variées que des substances identiques préalablement chauffées. Au reste, l'existence des germes qui imprègnent ces substances n'est plus douteuse depuis les intéressantes

(1) *Comptes rendus*, t. LI, p. 348 et p. 675.
(2) *Comptes rendus*, t. L, p. 304.
(3) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 1225.

observations de M. Coste (1), qui a recueilli sur du foin, des kystes d'infusoires ciliés et a suivi leurs évolutions dans des liqueurs nutritives.

Enfin il est démontré aujourd'hui qu'on peut rendre stériles les substances organiques naturelles les plus altérables en les filtrant avec beaucoup de soin : M. Pasteur a pu conserver intact, en présence de l'air calciné, du sang naturel, extrait directement des organes (2). M. Donné n'est point parvenu à obtenir d'organismes dans les œufs tant qu'il n'a point pratiqué d'ouverture dans l'enveloppe : cependant, les œufs contiennent une substance très-altérable et de l'oxygène sans cesse renouvelé, grâce à la porosité de l'enveloppe (3). Ainsi, dans les liquides naturels les plus putrescibles, en contact avec de l'air naturel, c'est-à-dire dans les circonstances qui paraissent les plus favorables à l'hétérogénie, la vie ne peut se manifester ; elle exige la présence dans ces milieux de corpuscules solides. Ce dernier résultat n'est-il pas en parfaite harmonie avec l'hypothèse de la nécessité des germes pour l'organisation de la matière?

Avant de rien conclure de cette seconde série d'expériences, il importe de rechercher si, *à part toute interprétation*, les résultats en sont exacts, ou bien s'ils ne sont point entachés *d'erreurs d'expérimentation.*

Ces expériences appartiennent pour la plupart à M. Pasteur : exécutées avec des précautions infinies, elles ont conduit à des résultats entièrement concordants; d'autre part, ceux de ces résultats sur lesquels reposent les arguments contraires à l'hétérogénie ont *été négatifs :* or, il me paraît impossible d'indiquer quelque *faute de manipulation* capable de rendre les liqueurs stériles alors qu'elles devraient être fertiles. Les résultats dont je parle, en tant que faits matériels, présentent donc toutes les garanties d'exactitude.

Mais, dans cet ensemble de faits, on n'a pas signalé jusqu'ici une seule contradiction, avec l'hypothèse de l'intervention

(1) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 149.
(2) *Comptes rendus*, t. LVI, p. 734.
(3) *Comptes rendus*, t. LVII, p. 448.

d'un germe pour provoquer l'apparition de la vie. D'ailleurs, M. Pasteur n'a fait que reproduire les expériences des partisans de l'hétérogénie, sans en changer les conditions essentielles, mais en tenant compte des causes d'erreurs manifestes qu'elles renfermaient. Il a donc réduit à néant toutes les contradictions qui semblaient exister entre les faits observés et l'intervention du germe dans la formation des organismes inférieurs.

Si tous les faits sont d'accord avec le principe de la génération par germes aussi bien qu'avec celui de la génération spontanée, nous n'avons pas à hésiter : il serait illogique d'opter pour la génération spontanée ; car, dans les théories physiques, on doit chercher à ramener les phénomènes à des lois de moins en moins nombreuses, et c'est un progrès que de rattacher tout un ordre de faits à une loi connue, au lieu de créer pour lui une hypothèse nouvelle. C'est ce genre de progrès qu'a réalisé M. Pasteur.

Mais ses expériences ont une plus haute portée.

Traduisons les résultats de ces expériences dans la théorie de la *génération ordinaire :* M. Pasteur suppose que partout où se développe une espèce quelconque d'organisme, là existe un germe de cette espèce; par ses expériences successives, il détermine indirectement certaines propriétés de ce germe : résistance à la chaleur, mode de dissémination dans l'air et dans les divers milieux, caractères physiques, etc., et toutes ces propriétés s'accordent avec celles qui résultent de l'observation directe : cependant l'hypothèse fondamentale subsiste, se fortifie, se précise de plus en plus, sans qu'il soit nécessaire de lui adjoindre quelque nouvelle hypothèse.

Essayons de traduire les mêmes résultats dans la théorie de la *spontéparité*. L'aptitude de la matière *inorganisée*, qui contient les éléments essentiels des êtres vivants, à créer *sans germe* des organismes, voilà l'hypothèse fondamentale. Pour expliquer l'action de la chaleur sur le développement des organismes, M. Pouchet lui-même est obligé de restreindre la première hypothèse par une seconde, et d'admettre que la génération ne se développe spontanément que dans la matière qui a eu vie, et à

la condition qu'elle ne soit pas trop modifiée par la chaleur, les réactifs chimiques, etc. (1). Mais les résultats des expériences avec de l'air atmosphérique limité, avec des liquides puisés directement dans l'organisme, appellent impérieusement une troisième hypothèse : pour que les substances naturelles, même les mieux appropriées à la vie, même celles qui n'ont point été modifiées artificiellement, produisent des organismes, il faut qu'elles contiennent des corpuscules solides, de poids très-faible, altérables par la chaleur, insaisissables, et qui ne sont point des germes (2).

Ainsi, je vois d'un côté l'hypothèse d'un *élément* (le germe), dont l'expérience ne fait que déterminer de plus en plus les propriétés naturelles, sans que le principe fondamental et les observations soient jamais en désaccord. Je vois d'autre part une hypothèse qu'il est nécessaire de restreindre, à mesure que l'on avance, par des hypothèses nouvelles. Cette comparaison de la marche progressive des deux théories ne parle-t-elle pas assez haut en faveur de la première? En physique, n'est-ce pas sur des caractères de ce genre que l'on s'appuie ordinairement pour prononcer en dernier ressort sur la valeur relative de deux théories opposées ?

Après cela, peut-on démontrer directement qu'il n'existe point de génération spontanée? Évidemment non. Mais qu'importe? L'observation directe des éléments mêmes de la génération nous échappe : les faits extérieurs qui en résultent, les lois qui représentent ces faits, voilà ce que l'expérience peut atteindre, voilà ce qui importe en réalité. Il n'en est pas autrement dans les recherches les plus élevées de la *Physique*, et M. Pasteur a eu le mérite d'étendre les plus rigoureuses méthodes de cette *Science* à un *Problème* qui semblait relégué dans le domaine de l'imagination.

La question de la génération des êtres vivants est à peu près épuisée ; mais elle peut renaître indéfiniment : il suffit, pour qu'elle se pose à nouveau, qu'un expérimentateur, imitant en

(1) Pouchet, *Hétérogénie, ou Traité de la génération spontanée*, p. 335.

(2) *Annales de chimie et de physique*, t. LXIV, p. 70.

cela MM. Pouchet, Joly et Musset, reproduise dans des conditions nouvelles quelques-unes des expéri ences de M. Pasteur, et qu'à la place des *résultats négatifs* de ce savant, il obtienne des *résultats positifs* (1). Avant de rechercher si les conditions de ces nouvelles expériences ne cachent pas de causes d'erreur, il faudrait examiner si les résultats eux-mêmes ne peuvent pas être attribués à quelque *faute d'expérimentation*. Or il est établi aujourd'hui qu'il existe dans les vases, dans les liquides naturels, dans l'air, etc., des principes imperceptibles qui suffisent à développer des organismes dans les liquides appropriés à la nutrition de ces êtres ; ces principes peuvent donc toujours, par les *fautes d'opération* les plus insaisissables, se glisser, à l'insu de l'expérimentateur, dans les milieux des expériences. Ils constituent alors une cause d'erreur suffisante pour expliquer les résultats, *lorsqu'ils sont positifs*. Ceux-ci, *tant qu'ils n'ont pas été contrôlés par de nombreuses expériences de vérifications*, ne sont donc pas réellement en contradiction avec la théorie de la génération par germes.

Des circonstances chimiques et physiques nécessaires au développement des êtres inférieurs. — Les substances chimiques dont le concours assure le développement des êtres inférieurs sont l'eau, une matière organique, l'oxygène de l'air. La nécessité de l'*eau* ne saurait être douteuse. La nécessité d'une *substance animale* ou *végétale* résulte des plus simples observations ; car l'eau ordinaire produit peu d'organismes, et elle en engendre de moins en moins à mesure qu'elle devient plus pure. L'intervention de l'*oxygène de l'air*, moins manifeste, n'est pas moins essentielle ; car il y a longtemps que de Saussure a remarqué qu'une plante flétrie, dans l'air humide, se couvre constamment de moisissures, mais n'en prend point dans le gaz azote, et que les moisissures, une fois formées, ne font aucun progrès dans un gaz entièrement dépouillé d'oxygène (2). D'après l'expérience de Gay-Lussac, les organismes désignés sous le nom de *ferment*

(1) *Comptes rendus*, t. LVII, p. 558 ; t. LV, p. 486.

(2) Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 196.

paraissent avoir besoin d'oxygène pour commencer à se développer, mais peuvent sans ce gaz continuer à se propager dans un milieu qui en renferme déjà quelques-uns.

Le degré d'*acidité* ou d'*alcalinité* des milieux exerce sur le développement des organismes une influence considérable. Dutrochet(1) a remarqué que les végétaux inférieurs ne se développent pas dans des milieux trop acides ou trop alcalins, et que la nature de ces végétaux paraît varier avec les propriétés acides ou alcalines des liqueurs. MM. Andral et Gavarret (2) précisèrent ces observations en un point : ils obtinrent d'une façon constante des moisissures dans le sérum du sang, le blanc d'œuf, etc., en acidifiant légèrement ces liquides. Mais c'est M. Pasteur qui a déterminé le sens général de ces influences : il a reconnu qu'un certain état d'acidité ou d'alcalinité du milieu organique favorise au plus haut degré le développement d'une espèce déterminée; et que cet état est variable d'une espèce à une autre. Ainsi, dans les liqueurs acides, les Mucédinées et les Mycodermes prédominent; les végétaux-ferments se plaisent dans les liquides à peu près neutres; les infusoires s'accommodent mieux d'un liquide alcalin. Le même chimiste, dans ses travaux sur les êtres inférieurs, a continuellement mis à profit ces propriétés pour obtenir à volonté telle ou telle espèce vivante à l'exclusion des autres (3).

Il faut encore ajouter aux circonstances essentielles du développement des êtres inférieurs la *température* du milieu qu'ils habitent : 10 degrés et 45 degrés, voilà en général les limites extrêmes au delà desquelles la vie de ces petits êtres cesse de se manifester.

Un germe, de l'eau, de l'oxygène, une matière organique naturelle, un certain degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu, une température convenable, telles sont donc les principales conditions du développement d'une espèce organisée dans un milieu défini.

(1) *Annales des sciences naturelles*, 2e série, t. I, p. 136.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. VIII, p. 385.

(3) *Ibid.*, 3e série, t. LII, p. 404.

Relations entre le développement des êtres vivants et les transformations chimiques des milieux qu'ils habitent, ou théorie des fermentations. — Il nous reste à étudier les transformations chimiques des substances organiques ou les *fermentations* qui accompagnent généralement l'organisation de la matière dans les milieux naturels. Ces transformations nous intéressent moins ici par elles-mêmes que par les relations qu'elles peuvent présenter avec les organismes vivants qui se développent parallèlement dans les mêmes milieux ; la détermination de ces relations, ou, en d'autres termes, la théorie des fermentations doit être fondée sur la recherche des conditions essentielles de ces métamorphoses : la méthode mixte, en faisant varier tour à tour les diverses circonstances de ces phénomènes, va nous conduire directement à ce but.

Lorsque l'observation nous eut appris que certaines substances naturelles abandonnées à elles-mêmes donnent naissance d'une manière assez constante à des composés spéciaux ; lorsque l'analyse eut mis les chimistes sur la trace des principes immédiats qui prennent part à ces transformations, on chercha à reproduire artificiellement ces phénomènes en mettant ces principes dans des conditions convenables. C'est la fermentation alcoolique, tant par son importance que par la facilité avec laquelle elle peut se reproduire identique avec elle-même, qui a le plus excité la curiosité des savants et qui a été le point de départ de toute recherche sur les autres fermentations.

Dès la fin du siècle dernier on savait, principalement par les expériences de Fabroni, que le sucre subit la fermentation alcoolique par le contact de diverses substances organiques naturelles, telles que la levûre de bière, des fleurs, des feuilles, etc. Plus tard Colin ajouta à ces substances la pâte de farine, le gluten, la viande, le blanc d'œuf, le fromage, l'urine, etc. (1). On réussit également à produire d'une façon régulière d'autres fermentations, en mêlant au corps fermentescible des matières analogues dans des conditions convenables.

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXVIII, p. 128.

Ce qui parut le plus remarquable dans tous ces faits, c'est le caractère commun à toutes les matières complexes qui produisent les fermentations : aussi Fabroni (1) posa-t-il en principe que la fermentation alcoolique consiste dans le dédoublement du sucre sous l'influence d'une matière végéto-animale semblable au gluten de Beccari, et il assimila à la fermentation alcoolique toutes les autres fermentations. Les chimistes qui s'occupèrent de ce sujet depuis Fabroni jusqu'à M. Berthelot (2) adoptèrent cette idée fondamentale en la précisant, en la généralisant, et peu à peu il fut établi que les fermentations ordinaires *consistent dans le dédoublement d'un composé par l'influence d'une substance organique azotée :* ce principe n'était du reste que la traduction littérale d'un certain nombre de faits. Mais ce genre de réaction, dont on n'apercevait pas le mécanisme, présentait ce caractère singulier : que le composé qui se modifiait et les produits de la réaction formaient entre eux une équation complète, et que la matière albuminoïde, dont l'intervention était reconnue nécessaire, ne paraissait point se transformer. *On admit donc que la matière azotée reste inaltérée, tout en produisant le dédoublement du composé fermentescible*, phénomène que Fabroni rapprocha de la décomposition d'un carbonate par un acide, et que Berzelius, sans l'expliquer davantage, rendit du moins vraisemblable en le faisant rentrer dans la classe des phénomènes catalytiques (3).

Cependant Thenard (4) avait depuis longtemps affirmé que la levûre de bière, mise en contact avec le sucre, diminue de poids et perd de l'azote, et plus tard Dœbereiner retrouva cet azote à l'état d'ammoniaque dans le liquide fermenté. C'est pour expliquer les faits de ce genre que M. Liebig modifia la théorie du contact (5). Dans son opinion, la substance fermentescible

(1) *Annales de chimie*, t. XXXI, p. 299.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. L, p. 322.

(3) Berzelius, *Traité de chimie: Fermentation vineuse.*

(4) *Annales de chimie*, t. XLVI, p. 294.

(5) Liebig, *Chimie organique appliquée à la physiologie végétale*, p. 224, et *Lettres sur la chimie*, 16e et 28e lettres.

ne se transforme qu'*autant que la matière azotée se décompose parallèlement*.

D'autre part, M. Liebig attribua le résultat de l'expérience de Gay-Lussac, et le fait de la conservation des matières organiques par le procédé d'Appert, à la *nécessité de l'oxygène pour commencer la décomposition du ferment azoté*. C'est par ces principes que l'illustre chimiste allemand rendit compte des phénomènes de fermentation, de putréfaction, de combustion lente, de contagion, etc., et qu'il rapporta la cause intime à l'ébranlement moléculaire qu'une substance en décomposition communique à d'autres substances avec lesquelles elle est en contact.

MM. Fremy et Boutron (1) complétèrent cette théorie en admettant que le même ferment peut, *suivant le degré de décomposition auquel il est parvenu, devenir tour à tour ferment alcoolique, lactique, butyrique*, etc.: ils exprimaient ainsi le fait de l'apparition successive de l'alcool, de l'acide lactique, de l'acide butyrique, etc., dans des liquides abandonnés à eux-mêmes.

De 1835 à 1837, Cagniard de Latour établit que la levûre est un amas de globules susceptibles de se reproduire par bourgeonnement. C'était introduire dans la question une circonstance nouvelle : *le développement d'êtres organisés pendant la fermentation* (2). Mais tant qu'on ne faisait pour ainsi dire que noter les phénomènes secondaires qui accompagnaient la fermentation, cette observation, en jetant du doute sur la théorie de M. Liebig, compliquait le problème sans l'avancer en rien. Pour tirer parti du fait découvert par Cagniard de Latour, il fallait élever la méthode d'observation vague et incertaine dont on s'était servi à la hauteur d'une méthode vraiment scientifique : il fallait avant tout étudier la fermentation dans un cas parfaitement défini; il fallait dans ce cas particulier simplifier autant que possible la composition des milieux, et faire varier suivant

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. II, p. 257.
(2) *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. LXVIII, p. 206.

des lois simples les principales circonstances de la fermentation, afin d'en saisir les corrélations. Tel est le genre de progrès qui conduisit M. Pasteur aux découvertes les plus inattendues.

C'est la fermentation alcoolique qui servit de base à ses études (1) ; mais il s'aperçut bientôt que le choix d'un mélange de sucre et d'un ferment solide était une condition très-désavantageuse : la structure organisée d'un tel ferment pouvait masquer la production des organismes; sa constitution chimique très-complexe entourait de difficultés l'appréciation des réactions intérieures. Aussi cet habile chimiste avança-t-il beaucoup l'étude de la question quand il substitua à ces matières un mélange formé de sucre, d'eau de levûre et d'une trace de levûre fraîche, mélange à l'aide duquel il put obtenir des fermentations d'une régularité parfaite.

C'est en opérant dans ces conditions qu'il put établir les principes suivants sur lesquels repose la théorie nouvelle :

La matière albuminoïde de l'eau de levûre n'est pas décomposée pendant la fermentation ; elle ne dégage ni azote, ni ammoniaque. Ainsi, contrairement à ce que croyait M. Liebig, la décomposition de la matière organique azotée n'intervient pas dans le phénomène de dédoublement du sucre. En effet, si l'on réunit dans un même vase, du sucre, de l'eau de levûre, de l'air ordinaire, et si, par un des moyens indiqués dans l'étude de la génération spontanée, on empêche les organismes de s'y développer, le sucre aussi bien que la matière albuminoïde restent inaltérés. Ce fait renverse donc toutes les théories qui posaient en principe que la matière albuminoïde, seule ou aidée de l'oxygène de l'air, suffit à provoquer la destruction du sucre. Mais si au sucre et à l'eau de levûre on ajoute au contraire une trace de levûre fraîche, le sucre fermente, et la levûre s'organise aux dépens d'une partie des éléments du sucre et de l'eau de levûre; elle vit réellement, mais elle vit sans avoir besoin d'oxygène, contrairement à la plupart des végétaux inférieurs. Toutes les fois

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LVIII, p. 323.

que la fermentation est simplement alcoolique, la levûre de bière est pure d'organismes étrangers, et réciproquement. Il existe donc une corrélation constante entre cette fermentation et la présence d'un végétal déterminé vivant sans oxygène. Le rôle des matières albuminoïdes dans la fermentation consiste principalement à fournir aux globules de levûre la matière azotée qui entre dans leur constitution.

Le poids de sucre décomposé dans un temps donné n'est en relation ni avec la quantité de produits solubles de la levûre, ni avec le poids de levûre toute formée, qui existent dans la liqueur, mais avec le poids de la levûre qui s'est organisée pendant la fermentation : celle-ci est donc bien corrélative du *développement* du végétal, et non de la présence du végétal tout formé ou des produits chimiques auxquels il donne naissance.

Si la levûre de bière est mêlée à d'autres organismes, la fermentation alcoolique se compliquera d'autres fermentations; mais l'alcool et la levûre de bière varieront toujours dans le même sens : cette expérience complexe vérifie les résultats précédents, et démontre que la fermentation alcoolique est corrélative du développement d'une seule espèce de végétal.

Enfin, toutes les circonstances de la fermentation de divers mélanges de sucre et de levûre, ou de sucre et de matières organiques solides, présentent un accord merveilleux avec les principes qui viennent d'être exposés.

La méthode suivie par M. Pasteur dans l'étude de la fermentation alcoolique peut donc être appliquée avec succès à tout phénomène de même genre.

Lorsqu'on entreprend l'étude d'une fermentation spéciale, on doit avant tout faire choix d'un milieu organique, dans lequel cette fermentation se produise naturellement avec régularité, et étudier au microscope les organismes qui l'accompagnent.

On cherche alors à la reproduire avec la même régularité dans un mélange artificiel formé de la substance fermentescible et d'un liquide albuminoïde, avec semences des organismes de la fermentation naturelle.

On essaye ensuite d'obtenir dans ce mélange artificiel le dé-

veloppement régulier de l'espèce d'organismes qui accompagne le plus souvent la fermentation qu'on étudie, et l'on s'assure que le phénomène chimique continue à se manifester avec les caractères qui lui sont propres.

Ces conditions une fois remplies, on interroge l'expérience pour savoir si la suppression des organismes par la chaleur, les antiseptiques, ou les divers moyens indiqués dans l'étude du germe, etc., supprime aussi la fermentation, et si l'apparition à l'état pur du ferment organisé dans les mêmes liquides développe aussitôt la fermentation sans mélange de produits étrangers : la corrélation du phénomène chimique et de quelque circonstance du phénomène vital est alors établie.

Mais on doit s'assurer en outre que ni les substances solubles sécrétées par les organismes vivants, ni la matière organisée de ces êtres, dont le développement est arrêté, ne peuvent seules exciter la fermentation ; on doit vérifier que le poids des produits de la fermentation est à peu près proportionnel au poids du ferment développé corrélativement. Si ces conditions sont remplies, il y a nécessairement corrélation entre le phénomène chimique et le développement progressif des êtres ferments.

Il importe encore de remplacer le ferment organisé par d'autres espèces, pour établir que la fermentation spéciale dont il s'agit lui appartient en propre.

Viennent ensuite les expériences de vérification. Après avoir étudié une seule fermentation dans un milieu simple, il faut la suivre encore dans ce même milieu lorsqu'elle est compliquée par d'autres fermentations; il faut la rechercher aussi jusque dans des milieux naturels plus complexes, et vérifier si les nouveaux résultats sont en harmonie avec les premiers.

Grâce à la sûreté de cette méthode, les principaux phénomènes chimiques qui accompagnent d'ordinaire le développement des êtres inférieurs dans les milieux organiques sont aujourd'hui connus dans ce qu'ils ont d'essentiel. Physiologiquement, ils paraissent pouvoir se diviser en trois classes :

1° Dans les *fermentations proprement dites*, un composé se dédouble en d'autres composés plus simples, *corrélativement*

au développement d'un être organisé qui vit sans oxygène, et dont l'espèce varie avec la nature de la fermentation. J'en citerai quelques exemples :

La fermentation alcoolique, la fermentation lactique, la fermentation visqueuse, sont caractérisées par le dédoublement du *sucre* en produits différents sous l'influence de *ferments végétaux* particuliers (1). Dans la fermentation butyrique, le sucre se transforme encore ; mais cette fois sous l'influence d'un *infusoire-ferment :* premier et frappant exemple, signalé par M. Pasteur (2), d'animalcules vivant sans oxygène. Dans la fermentation de l'urée, si complétement éclairée par les recherches de M. Van Tieghem, ce n'est plus le sucre qui se dédouble, mais *un composé quaternaire*, qu'un végétal réduit en carbonate d'ammoniaque (3).

2° On observe aussi dans les milieux organiques des *transformations de composés ternaires* qui sont encore *corrélatives de la présence d'êtres organisés,* mais qui exigent l'*intervention de l'oxygène de l'air*.

On sait, d'après les expériences de M. Pasteur, que le *Mycoderma aceti* fixe l'oxygène de l'air sur l'alcool pour en faire de l'acide acétique : cette oxydation est encore un phénomène propre à une seule espèce de végétal ; mais ici le végétal tout développé paraît agir par sa présence (4).

M. Van Tieghem a trouvé le secret de la transformation du tannin en acide gallique, dans l'action du mycélium du *Penicillium glaucum* ou de celui de l'*Aspergillus niger* en voie de formation : ici l'oxygène de l'air intervient encore nécessairement, non dans la transformation du tannin, mais dans le développement du végétal (5).

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LVIII, p. 323 ; t. LII, p. 404.

(2) *Comptes rendus*, t. LII, p. 344.

(3) Van Tieghem, *Recherches sur la fermentation de l'urée et de l'acide hippurique*, 1864.

(4) *Comptes rendus*, t. LIV, p. 160 et p. 265.

(5) Van Tieghem, *Recherches pour servir à l'histoire physiologique des Mucédinées. — Fermentation gallique.*

Enfin, lorsque les Mucédinées, les Mycodermes, etc., se développent activement, ils brûlent complétement les composés ternaires et les transforment à l'aide de l'oxygène de l'air en acide carbonique et en eau.

Ces divers degrés d'oxydation paraissent correspondre à des degrés de vitalité différents; car le *même végétal* peut oxyder plus ou moins le même composé, suivant qu'il se développe plus ou moins rapidement, ainsi qu'il résulte des observations de MM. Pasteur et Van Tieghem. Il y a plus : les ferments proprement dits se rattachent encore d'une façon lointaine aux organismes aériens, car dans certains cas ils paraissent pouvoir vivre en absorbant surtout de l'oxygène, au moment de leur naissance. Il est donc probable que la *fermentation proprement dite* et la *combustion complète* par les êtres organisés ne sont que les termes extrêmes d'une même série de phénomènes.

3° En dehors de ces faits, se placent les *réactions intimes* des substances chimiques des milieux organiques, *qui ne sont pas corrélatives de la présence des êtres vivants.*

A cet ordre de phénomènes appartient l'*interversion du sucre* dans les matières qui fermentent ou qui se couvrent de moisissures, car il est bien vrai que ce sont des êtres organisés qui provoquent ce phénomène; mais il résulte des observations de Mitscherlich que ces êtres n'agissent pas par eux-mêmes, mais par une substance chimique qu'ils développent, et que M. Berthelot paraît avoir isolée (1).

La gangrène, les modifications de la viande qui se faisande (2), certaines altérations des œufs dont l'enveloppe est restée intacte (3), paraissent aussi se produire à l'abri des êtres vivants, par le seul jeu des réactions de la matière inorganisée.

Après avoir étudié les transformations naturelles de certains composés dans les milieux organiques, il serait très-intéressant de les remplacer par d'autres corps chimiquement analogues,

(1) *Comptes rendus*, t. L, p. 980.
(2) *Ibid.*, t. VI, p. 1194.
(3) *Ibid.*, t. LVIII, p. 950.

afin de saisir les relations qui peuvent exister entre les propriétés chimiques et les propriétés physiologiques d'une même classe de combinaisons définies.

C'est ainsi que M. Berthelot a rapproché, par la propriété de fermenter alcooliquement, le sucre de canne, de raisin, de lait, le sucre interverti, et la sorbine, la glycérine, la mannite, la dulcine, composés entre lesquels il avait observé de remarquables analogies chimiques ; mais les résultats du travail de M. Berthelot manquent peut-être de netteté dans les détails, parce que les milieux des fermentations étaient trop complexes, et que les fermentations étaient multiples (1).

C'est ainsi que M. Pasteur, en observant les transformations des substances actives sur la lumière polarisée par l'influence des organismes inférieurs, est parvenu à démontrer l'intervention de la dissymétrie moléculaire dans les phénomènes chimiques de la vie (2).

La détermination rigoureuse de l'équation chimique de chaque fermentation est le complément nécessaire de ces études. L'analyse chimique en atteindra sûrement tous les éléments, pourvu qu'elle s'attache au cas du développement d'une seule espèce organisée dans un liquide simple, analogue à ceux qui ont servi aux recherches fondamentales de M. Pasteur sur les fermentations. C'est en opérant, en effet, dans ces conditions qu'il rectifia et compléta l'équation chimique de la fermentation alcoolique, et que M. Van Tieghem fixa définitivement l'équation de la fermentation du tannin : jusque-là l'analyse, appliquée à des cas trop complexes, n'avait pu déterminer sûrement les équations de ces phénomènes.

J'ai exposé dans son ensemble la théorie des fermentations telle que M. Pasteur l'a fondée. Supprimer tour à tour chacune des circonstances d'une fermentation ; chercher si cette circonstance et cette fermentation apparaissent et disparaissent en même temps, et de là conclure que l'une et l'autre sont corréla-

(1) *Comptes rendus*, t. XLIII, p. 238.
(2) *Ibid.*, t. XLVI, p. 615.

tives, voilà tout le principe de cette théorie. Envisagée sous cet aspect, elle apparaît comme la représentation exacte des faits, et elle semble inattaquable. Aussi lorsqu'on l'a combattue, c'est qu'on n'en a pas exactement compris la portée : tantôt on a nié la spécificité des organismes-ferments en s'appuyant sur ce fait qu'une fermentation peut être accompagnée d'organismes différents; on a confondu alors une simple coexistence avec une relation nécessaire (1). Tantôt on a soutenu que les organismes n'excitent la fermentation qu'en vertu des composés chimiques qu'ils produisent. Ici on a fait une double erreur : d'une part, on a assimilé au phénomène de l'*interversion du sucre* les fermentations proprement dites, dont les caractères sont essentiellement différents; de l'autre, on a préjugé sans preuve du mode d'action des forces intimes de la matière. Or, la théorie de M. Pasteur ne va pas si loin : elle ne prétend pas atteindre jusqu'à ces forces élémentaires qui échappent à l'expérience; elle en recherche simplement les manifestations extérieures, qui sont les relations des diverses circonstances de chaque phénomène (2).

Applications de la méthode mixte. — Les études qui précèdent, établissent des relations entre la vie des *organismes inférieurs* et les transformations de la matière des *animaux* ou des *végétaux supérieurs ;* c'est-à-dire qu'elles nous révèlent le secret des phénomènes chimiques de l'ordre le plus élevé, de ceux même qui nous intéressent le plus directement.

Elles ont conduit M. Pasteur (3) à expliquer comment la matière des grands animaux ou des grands végétaux, soustraite à l'influence de la vie, est envahie par une foule d'organismes microscopiques qui lui font subir des phénomènes successifs de fermentation et d'oxydation dont les produits définitifs sont l'eau, l'acide carbonique, l'ammoniaque, etc. Ainsi, le rôle de ces petits êtres est de restituer à la masse des minéraux toute la matière

(1) *Comptes rendus,* t. LXI, p. 374.
(2) *Ibid.*, t. L, p. 980.
(3) *Ibid.*, t. LVI, p. 1194.

organique que les animaux n'utilisent pas directement, condition nécessaire pour que cette matière puisse revenir aux végétaux et rentrer dans le cercle de la vie.

Parmi les transformations naturelles des substances organiques, il en est que l'industrie recherche tout spécialement pour en utiliser les produits. La science peut donc venir en aide à la pratique en lui apprenant à favoriser le développement des organismes liés à ces transformations, ou à éloigner des milieux en fermentation les organismes étrangers nécessairement nuisibles.

C'est ainsi que M. Pasteur substitua aux anciens procédés de fabrication du vinaigre un procédé rationnel, fondé sur les relations de l'acétification de l'alcool et de la présence du *Mycoderma aceti* (1).

Un peu plus tard il appliqua les résultats de ses études sur les petits organismes à un cas beaucoup plus complexe : il chercha le secret de ces modifications délicates que le vin subit avec le temps, dans les circonstances diverses de la pratique. Il fut assez heureux pour en découvrir les deux lois fondamentales. On sait que le vin peut éprouver avec le temps deux sortes de transformations : les unes constituent les *maladies*, les autres ce qu'on appelle le *vieillissement* du vin. Après de nombreuses expériences, il reconnut que chaque maladie du vin est corrélative du développement d'êtres organisés d'espèce déterminée, et qu'au contraire la propriété de vieillir est indépendante de la vie des organismes, qu'elle est due aux réactions des principes chimiques du liquide par l'action lente et nécessaire de l'oxygène de l'air (2).

Ce sont ces résultats qui lui ont suggéré l'idée d'*appliquer la chaleur à la conservation du vin*, et qui lui ont fait admettre :

1° Que le chauffage, en tuant les germes des organismes du vin, le préserve de toutes les maladies.

(1) *Comptes rendus*, t. LV, p. 28.

(2) *Études sur le vin ; ses maladies, causes qui les provoquent ; procédés nouveaux pour le conserver, le vieillir, etc.*, par M. Pasteur, 1866.

2° Qu'il n'empêche pas le vin de vieillir, par cela même que la propriété de vieillir est indépendante des organismes.

3° Qu'une température de 60 degrés suffit pour détruire les germes contenus dans le vin.

Toutes ces conditions paraissent nécessaires pour assurer la valeur pratique du procédé de conservation du vin par le chauffage. Or, pour les déterminer sûrement, il fallait prendre pour guide l'ensemble des travaux théoriques sur le développement des petits organismes. Aussi avait-on maintes fois chauffé du vin sans reconnaître les véritables effets de la chaleur sur ce liquide ; et Appert lui-même, bien que guidé par le fait de la conservation des substances alimentaires par la chaleur, avait avancé que ce traitement aiderait à la conservation du vin, sans cependant réussir à le démontrer par l'expérience.

Les recherches de M. Pasteur sur les maladies épidémiques du ver à soie constituent aussi une importante application des méthodes expérimentales aux phénomènes de la physiologie.

On avait bien remarqué avant ce chimiste que certains *corpuscules* accompagnaient fréquemment, dans les vers à soie, la maladie de la *pébrine*. Mais ce fait pouvait n'être qu'une simple coïncidence d'une importance tout à fait secondaire. Lorsqu'en contagionnant des vers sains au moyen de corpuscules, il réussit à leur communiquer la pébrine avec ses caractères habituels, il établit ainsi, par ce seul résultat, qu'il y a corrélation entre l'altération des organes par la pébrine et le développement des corpuscules. Dès lors l'étude de cette maladie se ramenait à la recherche des conditions du développement de ces petits êtres ; au point de vue pratique, il suffisait même d'examiner les conditions les plus extérieures, celles dont l'étude appartient en propre à la méthode mixte.

Parmi ces conditions extérieures, M. Pasteur étudia principalement l'*influence des germes des corpuscules sur la propagation de ces êtres*. Bientôt il reconnut que ces germes peuvent être

transmis par hérédité, et que ce mode de transmission a, au point de vue pratique, sur le développement des corpuscules, une influence prédominante. Pour arrêter la maladie, il fallait donc supprimer l'infection par hérédité, en éliminant comme reproducteurs tous les vers capables de transmettre les germes corpusculaires ; et, pour reconnaître ces vers, il fallait rechercher des caractères à la fois certains et pratiques. Tels sont les principes sur lesquels il fonda un procédé rationnel de grainage qu'il appliqua également avec succès à une autre maladie des vers à soie, la *flacherie* (1), maladie corrélative du développement d'autres *parasites.*

Ces travaux sur les vers à soie nous révèlent donc un procédé général pour l'étude rationnelle des maladies contagieuses : il consiste dans l'application de la méthode suivie dans l'étude d'une fermentation par laquelle il faut rechercher avant tout si un être microscopique d'une espèce spéciale accompagne ordinairement la maladie. On essayera alors de le faire développer dans des sujets sains, en les contagionnant avec les germes du parasite, et, si la maladie se présente avec tous ses caractères, on pourra en conclure qu'il y a corrélation entre le développement de cet organisme et les transformations chimiques des substances des organes qui constituent la maladie. Il restera alors à étudier l'influence des circonstances extérieures sur le développement du parasite, telles que les divers modes de transmission de ses germes, les conditions de température, d'aération, de nutrition des êtres aux dépens desquels il se propage, etc. De cette étude résulteront les moyens pratiques à employer pour combattre l'épidémie.

Résultats de la méthode mixte.—La méthode mixte, appliquée aux êtres inférieurs, a résolu un ensemble de questions parfaitement déterminé.

D'abord elle nous a fait connaître les principales conditions

(1) *Comptes rendus*, années 1865, 1866, 1867, 1868, 1869.

du développement de ces organismes : un germe, de l'oxygène, de l'eau, *une matière complexe d'origine organique,* un certain degré d'acidité ou d'alcalinité, une certaine température.

Ensuite elle a abordé l'étude des transformations spontanées de substances organiques définies qu'on ajoute à une dissolution de matières albuminoïdes ; elle a reconnu que ces transformations consistent, soit en des dédoublements, soit en des phénomènes d'oxydation qui peuvent être représentés par des équations chimiques dont ne font pas partie les principes des organismes vivants qui se développent parallèlement.

Enfin elle a déterminé les relations qui unissent ces transformations à la vie des organismes inférieurs dans les mêmes milieux.

Cette méthode, appliquée avec un succès inespéré à l'étude des transformations qui s'accomplissent sous l'influence des organismes microscopiques, soit dans les êtres vivants, soit dans les matières organiques que l'industrie meten œuvre, a montré qu'elle peut porter la lumière dans les plus utiles questions de la pratique, comme dans les plus hauts problèmes de la physiologie.

La méthode mixte est donc incontestablement supérieure à la méthode analytique, puisqu'elle a pénétré beaucoup plus avant dans l'étude des phénomènes de la vie chez les organismes inférieurs que chez les grands végétaux. Aussi est-il à remarquer que l'application rationnelle de cette méthode à la physiologie des petits organismes est de date très-récente, et qu'il n'est guère jusqu'ici qu'un côté, fort essentiel il est vrai, des phénomènes chimiques de la vie des êtres inférieurs que cette méthode ait laissé dans l'ombre : je veux parler de l'influence des *divers éléments de la matière organique azotée* sur le développement de ces êtres.

III. — Méthode synthétique.

Possibilité du développement des organismes inférieurs dans un milieu artificiel formé d'éléments chimiques définis. — La méthode

synthétique repose sur la possibilité de trouver des milieux propres au développement des êtres organisés qui soient exclusivement formés de composés chimiques définis. A priori, on ne saurait conclure des expériences relatives aux grands végétaux, que les organismes inférieurs peuvent vivre dans des milieux artificiels, car il est bien certain que ces petits êtres ne réduisent pas l'acide carbonique à la lumière, puisent leurs principaux éléments dans les substances organiques, et paraissent tout d'abord s'écarter complétement de la manière de vivre des grands végétaux. C'est donc à l'expérience à prononcer.

Dès 1834, M. Morren vit naître dans l'eau de source des animalcules verts dont il fit une étude suivie (1). En 1858, M. Béchamp obtint des moisissures dans l'eau sucrée mêlée de divers sels (2). M. Bineau alla même plus loin : il reconnut, en 1853, que des Algues qui croissaient dans l'eau de pluie faisaient disparaître l'ammoniaque qui y était contenue naturellement, ou celle qu'on y ajoutait en petite quantité. Mais les quantités toujours très-faibles de ces productions pouvaient être attribuées à la présence de traces de matières complexes d'origine organique; la preuve en est que les auteurs de ces expériences ne portèrent nullement leur attention sur la formation possible des organismes inférieurs aux dépens des composés chimiques définis des liquides dont ils se servaient.

La question restait donc entière, lorsque M. Pasteur entreprit ses expériences sur la fermentation alcoolique. La formation des principes ternaires de la levûre aux dépens du sucre, la disparition de l'ammoniaque des liqueurs en fermentation, fixèrent son attention ; il se demanda si le sucre, l'ammoniaque et les éléments minéraux de la levûre ne suffiraient pas à créer le *végétal-ferment* de toutes pièces, et il composa le milieu artificiel suivant :

Eau pure....................	100
Sucre candi.................	10
Tartrate d'ammoniaque........	0,1
Cendres de 1 gramme de levûre.	
Traces de levûre fraîche.	

(1) *Annales des sciences naturelles*, ZOOLOGIE, 2e série, t. III, p. 5.

(2) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LIV, p. 28.

Il se forma peu à peu de la levûre, en poids très-supérieur aux traces de matières organiques qui pouvaient exister dans le milieu, et identique par sa composition avec la levûre naturelle. En même temps tous les phénomènes de la fermentation ordinaire se produisirent. Mais le poids de levûre formée et l'intensité du phénomène chimique furent incomparablement plus faibles que dans les liquides albuminoïdes. Le problème fondamental de la méthode synthétique était donc résolu.

Voici d'ailleurs en quels termes M. Pasteur résume cette mémorable expérience :

« Les résultats suivants montreront toute la puissance d'or-
» ganisation de la levûre, et mettront fin, ce me semble, aux
» discussions sur sa nature. Dans une solution de sucre candi
» pur, je place, d'une part un sel d'ammoniaque, par exemple,
» du tartrate d'ammoniaque, d'autre part la matière minérale
» qui entre dans la composition de la levûre de bière, puis une
» quantité pour ainsi dire impondérable de globules de levûre
» frais. Chose remarquable, les globules semés dans ces condi-
» tions se développent, se multiplient, et le sucre fermente, tan-
» dis que la matière minérale se dissout peu à peu et que l'am-
» moniaque disparaît. En d'autres termes, l'ammoniaque se
» transforme dans la matière albuminoïde complexe, qui entre
» dans la constitution de la levûre, en même temps que les
» phosphates donnent aux globules nouveaux leurs principes
» minéraux. Quant au carbone, il est évidemment fourni par
» le sucre.

» Il ne faudrait pas croire néanmoins que la fermentation
» devienne jamais aussi active que si, au lieu d'ammoniaque
» pour aliment azoté des globules semés, on se servait d'une
» matière albuminoïde appropriée, comme celle du raisin, du
» jus de betterave, ou la partie soluble de la levûre de bière
» ordinaire. Sème-t-on dans de l'eau sucrée, mêlée d'un peu de
» ces matières albuminoïdes, des globules de levûre frais, les
» phénomènes généraux seront en tous points les mêmes que
» ceux que je viens de décrire, mais la fermentation sera très-
» sensiblement plus active. Par exemple, au lieu de se déclarer

» après 36 à 48 heures, les premières petites bulles d'acide carbo-
» nique apparaissent déjà au bout de 12 à 24 heures. En outre
» la quantité de levûre formée et déposée dans le même temps
» est bien supérieure ; mais, je le répète, tout est pareil, avec
» une énergie plus grande, et les produits fournis sont rigou-
» reusement les mêmes. »

Et plus loin, après avoir décrit toutes les particularités de l'expérience, M. Pasteur en tire cette conclusion :

« Tous ces résultats, de la plus rigoureuse exactitude, bien
» que la plupart aient été obtenus en agissant sur des poids de
» matière très-faibles, établissent la production de la levûre
» alcoolique et de la fermentation particulière qui lui corres-
» pond dans un milieu formé uniquement de sucre, d'un sel
» d'ammoniaque et d'éléments minéraux (1). »

M. Pasteur appliqua ensuite des milieux artificiels du même genre, rendus alcalins ou acides, au développement des Bactéries, des Vibrions, des Mucédinées, etc. M. Van Tieghem, s'en servit également pour étudier la fermentation ammoniacale et la fermentation gallique. Les résultats furent constamment d'accord avec ceux qu'avait offerts la fermentation alcoolique (2).

M. Pasteur supprima tour à tour chaque élément du milieu artificiel, sucre, élément azoté, matières minérales, et il n'obtint plus que des traces de matière organisée. Il observa même qu'une diminution des alcalis ralentissait la végétation, et c'est en vain qu'il chercha à remplacer les phosphates par les arséniates.

L'ammoniaque peut être remplacée par d'autres composés azotés. M. Pasteur lui a substitué, avec succès, le nitre et l'éthylamine dans la végétation des Mucédinées. M. Van Tieghem a réussi à développer la Torulacée de la fermentation

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LVIII, p. 382, 384 et 393.

(2) *Ibid.*, 3e série, t. LXIV, p. 107. — Van Tieghem *Recherches sur la fermentation de l'urée et de l'acide hippurique*, 1864 (*Annales des sciences naturelles*, 5e série, t. VIII).

ammoniacale de l'urine, avec de l'urée, de l'acide hippurique, comme éléments azotés, tandis que l'éthylurée a été inactive. Le sucre a pu être remplacé par le tannin dans les recherches de M. Van Tieghem sur la végétation du *mycelium* de certaines Mucédinées; et par la glycérine, l'acide tartrique, l'acide succinique, l'acide lactique, l'acide acétique, l'acide oxalique, dans les expériences de M. Jodin sur le développement de divers organismes.

Les transformations chimiques qui s'opèrent dans ces milieux artificiels sont entièrement semblables à celles que nous avons observées dans les milieux naturels.

Parmi ces transformations, M. Jodin a étudié principalement les phénomènes d'oxydation des composés ternaires par l'oxygène de l'air, et les phénomènes d'inversion du sucre qui accompagnent le développement des organismes; mais les résultats fort intéressants auxquels il est parvenu auraient peut-être offert des caractères plus nets et plus constants, si, au lieu de laisser croître à leur gré divers organismes dans les milieux artificiels dont il se servait, il en avait cultivé d'espèces déterminées (1).

En même temps qu'une partie des composés du milieu artificiel se transforme en certains produits extérieurs à l'organisme des êtres vivants, une autre portion s'organise et fournit leurs principes immédiats : le sucre et l'ammoniaque forment évidemment la cellulose, les matières grasses, l'albumine; les matières minérales donnent les éléments des cendres que l'on trouve par incinération dans tous ces êtres. La question de l'assimilation de l'azote de l'air par les petits organismes a été traitée par M. Jodin à l'aide de la *méthode directe*, qui l'a conduit au résultat suivant : Certaines espèces assimileraient l'azote de l'air en quantités notables; d'autres espèces qui vivent de la substance des premières convertiraient cet azote assimilé en ammoniaque (2).

(1) *Comptes rendus*, t. LIV, p. 913; t. LIII, p. 125; t. LV, p. 612; t. LVII, p. 434.

(2) M. Jodin a eu recours à la *méthode directe*, qui consiste à doser directement l'azote dans l'air à l'état gazeux. J'ai cherché à donner à cette méthode la précision qui lui manque, en évitant tout transvasement de gaz et de liquides, en opérant dans des vases fermés à la lampe, et en mesurant directement, par une différence de pres-

Conséquences générales. — Ces résultats ajoutent aux théories de M. Pasteur sur la génération et sur les fermentations des arguments d'une grande force : Les hétérogénistes, on se le rappelle, ont été forcés d'admettre que la génération spontanée ne se produit que dans des matières organiques ayant eu vie, qui ne sont pas trop altérées, et qui ont pour ainsi dire conservé un reste de force vitale. Puisque dans les milieux artificiels, les organismes se développent, à l'intensité près, comme dans les liquides naturels, cette hypothèse est donc contraire aux faits ; et voilà l'hétérogénie privée d'une de ses bases les plus essentielles.

S'il pouvait encore rester quelque incertitude sur les théories de Berzelius et de M. Liebig sur la fermentation, elle disparaîtrait radicalement en présence de ce fait : que la fermentation peut se produire dans des liqueurs où l'albumine n'existe point, où elle se forme, loin de se détruire. Le rôle qu'attribuaient ces théories aux matières organiques est donc imaginaire.

Il est intéressant de comparer le milieu artificiel dans lequel se développent les êtres inférieurs au milieu artificiel propre aux grands végétaux : les uns empruntent leur carbone, leur hydrogène, leur oxygène *aux composés ternaires*, les autres à l'*acide carbonique* et à l'*eau ;* il y a donc opposition complète. Mais d'un autre côté on voit les nitrates ou les sels ammoniacaux et les sels minéraux (phosphate de potasse principalement) concourir au développement des uns et des autres : ici analogie parfaite. En général, au point de vue de l'assimilation du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène, les êtres microscopiques paraissent se rapprocher des animaux ; au point de vue de l'assimilation de l'azote, du phosphore, etc., ils ressemblent plutôt aux végétaux.

Résultats principaux. — En résumé, le milieu artificiel propre

sions, l'azote absorbé ou exhalé par les organismes, enfin en écartant toute espèce de correction. Je n'ai point trouvé que l'azote fût absorbé par les Mucédinées, résultat conforme à celui qu'a obtenu M. Boussingault par une autre méthode. (*Comptes rendus*, 1863, t. LVII, et 1862, t. LV.)

au développement des organismes inférieurs est formé nécessairement :

1° D'un composé ternaire dont le sucre est le type ;

2° D'un composé azoté (ordinairement l'ammoniaque) ;

3° De sels minéraux phosphatés.

La présence simultanée de ces trois sortes de composés est nécessaire à la vie de ces organismes, car la suppression de l'un d'entre eux diminue singulièrement la production de la matière organisée.

Ces substances participent à la formation des petits organismes, d'une part en fournissant leurs principes immédiats, de l'autre en se transformant en d'autres produits extérieurs à ces organismes par voie de dédoublement ou d'oxydation.

Le développement des organismes dans ces milieux est incomparablement plus faible que dans les liquides naturels, sans qu'on puisse actuellement préciser les causes de cette différence.

Tel était l'état des connaissances acquises par la synthèse sur le développement des petits organismes, lorsque j'entrepris les recherches exposées dans la deuxième partie de ce mémoire, dont les premiers résultats ont été publiés en 1863 (1).

CHAPITRE III.

MÉTHODE GÉNÉRALE POUR ÉTUDIER LA CHIMIE DES VÉGÉTAUX.

Tous les problèmes que nous avons examinés successivement se résument dans ces deux questions générales :

Quels sont les éléments physiques et chimiques du milieu dans lequel vit un végétal, et quelle est l'influence de chacun d'eux sur le développement du végétal ?

Quelles sont les substances dans lesquelles se transforment successivement les éléments chimiques de ce milieu, et quelles sont les relations de ces transformations avec le végétal ?

La méthode analytique, la méthode mixte, la méthode syn–

(1) *Comptes rendus*, t. LVII, p. 228.

thétique, qu'elles s'appliquent à l'étude des grands ou des petits végétaux, ont pour objet les problèmes qui se rattachent à ces deux propositions, mais elles les résolvent avec des degrés de perfection très-divers.

A l'appui de cette assertion, citons quelques exemples. La méthode analytique, en découvrant la présence de l'azote dans tous les végétaux, en comparant la quantité d'azote des récoltes aux proportions de cet élément que le sol peut leur céder, enfin en constatant l'existence dans l'atmosphère de l'ammoniaque et de l'acide nitrique, suggéra l'idée que peut-être l'azote des plantes a ces deux composés pour origine; mais ce n'était encore qu'une idée préconçue. La méthode mixte alla plus loin : elle démontra incontestablement que l'acide nitrique ou l'ammoniaque, ajoutés aux terres arables à l'état de sels, favorisent le développement des végétaux, sans nous renseigner d'ailleurs sur le sens de ce fait remarquable. Quel est le rôle de ces composés dans la vie des plantes? S'ils fournissent aux végétaux l'azote qui entre dans leur constitution, agissent-ils directement, ou bien après avoir été transformés par les matières organiques du sol? Enfin quelle est la mesure de l'efficacité de ces composés, et par suite la mesure de l'importance de l'azote pour l'organisation de la matière? C'est la méthode synthétique qui se chargea de répondre à toutes ces questions. D'autre part on se rappelle qu'il n'est sorti de la méthode mixte aucune observation précise sur les transformations des composés carbonés et hydrogénés par les grands végétaux : au contraire, cette méthode appliquée aux petits organismes nous a fait connaître les lois fondamentales des transformations des composés ternaires en leur présence.

On peut se convaincre, par l'examen comparatif de toutes les questions précédemment exposées, que ces résultats, loin d'être isolés, comportent la généralisation la plus étendue :

En ce qui concerne les grands végétaux, la méthode analytique nous a fourni des faits épars entre lesquels elle nous a fait entrevoir à peine quelques rapports lointains. La méthode mixte nous a déjà révélé quelques relations certaines entre le développement d'un végétal et les circonstances les plus extérieures du

milieu où il vit. La méthode synthétique, saisissant dans leur ensemble les rapports du végétal et de chacun des éléments qui l'entourent, a fondé sur eux la théorie rationnelle de la chimie des végétaux supérieurs. D'autre part, la méthode mixte, appliquée à des problèmes fondamentaux de la chimie des petits organismes : à l'étude de l'intervention du germe dans la vie de ces êtres, et à celle des phénomènes chimiques corrélatifs de leur développement, s'est subitement révélée à nous comme une méthode douée d'une puissance, d'une fécondité que nous ne lui connaissions pas, tant qu'elle s'est bornée à l'étude des grands végétaux.

Généralement, comme moyen d'investigation, la méthode mixte est moins bornée que la méthode analytique, et la méthode synthétique offre seule les conditions d'une méthode de recherches vraiment complète ; chacune de ces méthodes présente incomparablement plus de ressources pour l'étude des petits organismes que pour celle des grands végétaux. Cette proposition va ressortir avec évidence de la comparaison des caractères de ces méthodes appliquées aux divers ordres d'organismes.

La méthode synthétique est supérieure à la méthode analytique par trois caractères principaux :

1° Elle nous permet, et c'est là sa propriété essentielle, de faire varier arbitrairement, une à une, les circonstances au milieu desquelles un végétal se produit ; de déterminer les variations qui en résultent pour le développement du végétal, et, par suite, de saisir directement les relations des circonstances extérieures avec le phénomène de la végétation. Au contraire, la méthode analytique ne nous indique jamais que la coexistence de certaines propriétés des plantes et de certains éléments du milieu extérieur, et cette coexistence, qui peut être purement fortuite, ne doit pas être confondue avec une relation nécessaire ; d'ailleurs les variations naturelles que cette méthode permet d'observer dans les circonstances du phénomène de la végétation sont ordinairement trop complexes, trop multiples, pour qu'on en puisse déduire quelque relation simple.

2° Aux milieux naturels, illimités et complexes, dans lesquels vivent les plantes, la méthode synthétique substitue des milieux parfaitement limités, moins complexes et par le nombre et par la nature des substances qui les composent : elle rend donc plus simple et plus exacte l'étude des phénomènes chimiques qui accompagnent le développement d'un végétal.

3° Lorsqu'on étudie la végétation dans les milieux naturels, on est astreint à rechercher par analyse tous les éléments de ces milieux; à l'aide de la méthode synthétique, on connaît exactement d'avance, sans avoir besoin de recourir à l'analyse, tous les éléments extérieurs qui peuvent concourir à la formation des plantes, et cette notion sert elle-même de guide pour la recherche des produits qui résultent de la végétation; elle en simplifie considérablement l'étude.

On voit sans peine que la méthode mixte, qui participe à la fois des propriétés des deux méthodes précédentes, constitue un progrès sur la méthode analytique, bien qu'elle soit très-inférieure encore à la méthode synthétique.

Comparons à présent l'étude des grands végétaux et celle des organismes inférieurs par la méthode synthétique :

1° La durée des expériences est pour les grands végétaux beaucoup plus considérable que pour les végétaux inférieurs : c'est là pour l'étude des premiers une difficulté et une source d'erreurs.

2° Les appareils dans lesquels se développent les organismes inférieurs sont moins compliqués, ont des dimensions moindres que les appareils nécessaires à la végétation des grandes plantes.

3° Le sable qui sert de sol pour les grands végétaux apporte toujours avec lui des impuretés; le mélange de ce sable et des sels essentiels à la végétation n'est jamais parfaitement homogène et l'analyse exacte en est très-difficile. Ces causes d'erreurs acquièrent une importance réelle par suite de l'influence considérable que peuvent exercer de petites quantités de matières sur la végétation : dans l'étude des petits organismes, elles se trouvent supprimées par la substitution de l'eau au sable.

4° Le germe d'un grand végétal a généralement un poids

très-appréciable ; il introduit donc dans les essais une quantité non négligeable de matières complexes, qu'on ne peut jamais supprimer, et dont l'appréciation analytique est toujours peu exacte. Au contraire, le poids d'un germe des organismes inférieurs est tellement faible, qu'il échappe aux pesées les plus délicates.

5° Les végétaux inférieurs, réduits à de simples cellules, doivent présenter des phénomènes plus simples, plus constants, par suite plus faciles à saisir, que ceux des grands végétaux dont l'organisation est plus complexe ; en même temps l'analyse chimique devient plus facile, plus exacte pour les êtres cellulaires, de constitution à peu près homogène, que pour les grands végétaux, dont la composition est variable d'un organe à un autre.

Ces considérations paraissent conduire à plusieurs remarques générales :

Dans l'examen comparatif des travaux qui se rattachent à une question de chimie végétale, on éprouve souvent un grand embarras, pour décider de la place que chaque découverte doit occuper dans l'ordre scientifique, pour apprécier le progrès qu'elle a accompli, pour déterminer le point exact où elle s'arrête, pour juger du degré de confiance qu'elle doit inspirer. Je n'en veux pour preuve que le désaccord qui règne parmi les savants sur bien des questions de physiologie végétale, telles que celles-ci : A qui revient le mérite d'avoir démontré que l'ammoniaqne peut fournir aux plantes l'azote essentiel à leur constitution? Qui a reconnu que les végétaux peuvent s'assimiler le phosphore des phosphates, etc.? J'attribue ces incertitudes, d'une part à ce que chaque question de ce genre peut être traitée par des méthodes très-diverses, de l'autre à ce que l'on apprécie d'ordinaire la valeur intrinsèque des recherches expérimentales, sans les mettre en rapport avec les méthodes qui leur ont servi de base. Il en serait autrement si, lorsqu'on analyse un travail sur la chimie des végétaux, on se préoccupait avant tout de la méthode à laquelle il appartient, de la nature des végétaux qu'il a pour objet. De ces conditions résulterait immé-

diatement le rang que l'on doit assigner à ce travail, le genre de progrès qu'il peut réaliser, le degré d'importance qu'il comporte ; on pourrait alors étudier fructueusement les détails d'expérimentation : un tel examen conduirait en somme à une appréciation d'une sûreté incontestable.

Les principes qui m'ont guidé dans l'exposé des progrès de la *chimie appliquée aux végétaux* paraissent donc offrir une base solide aux études critiques sur les découvertes acquises à cette science ; en même temps ils vont nous indiquer la voie rationnelle à suivre pour l'enrichir de découvertes nouvelles.

Si l'on se proposait de résoudre complétement et sûrement le problème chimique du développement d'un végétal, il faudrait recourir à la *méthode synthétique*, qui atteint le plus haut degré de perfection, et l'appliquer à l'étude d'un *végétal microscopique* pour laquelle elle offre les ressources les plus étendues.

Le problème de la vie, dans ce cas particulier, ne présenterait par lui-même qu'un intérêt restreint ; mais il importerait de faire de ce problème le point de départ d'un ensemble de travaux scientifiquement ordonnés, ayant pour objet la chimie générale des végétaux. Il est permis de croire en effet qu'en s'appuyant sur la connaissance exacte des phénomènes de la végétation dans le cas le plus simple, on pourrait s'élever sûrement à l'étude de cas de plus en plus complexes. Ainsi passer de la connaissance des petits végétaux à celle des végétaux supérieurs, de la méthode synthétique à la méthode mixte, et de celle-ci à la méthode analytique, telle serait la marche naturelle de la chimie rationnelle des végétaux.

Du reste, il y a longtemps que la *chimie proprement dite* s'est engagée dans cette voie : la connaissance des combinaisons artificielles fort simples de la chimie minérale a préparé la voie pour l'étude des composés plus complexes de la chimie organique, et des substances minérales ou organiques de la nature.

A cette méthode rationnelle, la science des phénomènes chimiques de la matière organisée doit toutes ses découvertes. Penserait-on pouvoir se passer d'un guide aussi sûr dans

l'étude plus complexe des phénomènes chimiques des êtres vivants ?

Ces deux sortes de phénomènes, en ce qu'ils ont d'essentiel, présentent la plus complète analogie? De part et d'autre que voyons-nous ? Des composés chimiques placés dans des circonstances convenables se transformer en d'autres composés. Le phénomène du développement d'une plante, comme le phénomène de la formation des corps inorganisés, se résume au point de vue chimique dans la connaissance exacte de l'équation qui lie les substances qui réagissent aux produits de leur transformation. Sans doute les réactions des êtres vivants sont plus compliquées, ordinairement plus lentes que les réactions de la matière inorganisée; sans doute encore la production d'un végétal exige une circonstance spéciale, la présence d'un *germe*, dont la mystérieuse influence force la matière à s'organiser. Mais au point de vue chimique, les phénomènes que nous comparons sont absolument de même ordre, et l'on doit en conclure que la méthode qui convient aux uns s'appliquerait aux autres avec un égal succès.

Cependant, dans les recherches chimiques sur la végétation, on a suivi longtemps en sens inverse la voie que je viens d'indiquer : on a étudié les phénomènes de la végétation dans les milieux naturels, bien avant que le développement des plantes dans les milieux artificiels fixât sérieusement l'attention des savants; et les phénomènes de la vie des grands végétaux avaient été l'objet de bien des travaux, lorsque les chimistes s'aperçurent enfin que les êtres inférieurs n'étaient pas indignes de leur attention. Si la véritable route scientifique a été découverte si tard, bien qu'elle fût indiquée pour ainsi dire par l'heureuse initiative de la *chimie générale*, il faut attribuer ce fait à ce que la nature nous offre partout les phénomènes les plus complexes, et nous dérobe la vue des phénomènes les plus simples : les premiers attirent donc toute notre attention, les seconds passent inaperçus.

Aussi la découverte de la *méthode rationnelle* pour l'étude de la chimie des êtres vivants comme de la matière inerte, était

subordonnée à la découverte des *lois du phénomène chimique* dans les cas les plus simples.

Le jour où Lavoisier réussit à expliquer le fait de la combustion d'un corps simple dans l'oxygène, c'est-à-dire à surprendre les lois essentielles de la combinaison dans le cas le plus simple, un esprit profond eût pu prédire que la *chimie des êtres inorganisés* était créée.

De même M. Pasteur a donné à la *chimie des êtres organisés* son véritable point d'appui lorsque, par une inspiration hardie, il devina que le nœud des questions physiologiques se trouvait dans les phénomènes de la vie considérée dans des milieux de composition simple, chez des organismes tellement simples, qu'à peine on leur concédait le droit de vivre.

Cette pensée a présidé à toutes les recherches de M. Pasteur sur le développement des petits organismes.

Moi-même, pendant deux années que j'ai passées auprès de ce maître, j'ai cherché à m'inspirer de ses vues originales sur les phénomènes de la vie, comme aussi de sa rigoureuse méthode d'expérimentation. C'est dans cet ordre d'idées que j'ai entrepris les *Recherches sur la végétation des Mucédinées*, qui font l'objet de la seconde partie de ce mémoire, et pour lesquelles M. Pasteur a bien voulu me donner ses conseils et ses encouragements. Je m'estimerais heureux si, par ce travail, j'avais réussi à apporter quelques faits à l'appui des prévisions que M. Pasteur exprimait en 1862 dans un langage empreint d'une conviction profonde, à propos de ses découvertes sur la génération des êtres inférieurs :

« Ces faits nous découvrent une méthode à l'aide de laquelle » la physiologie végétale pourra aborder sans peine les ques- » tions les plus délicates de la vie de ces petites plantes (Mucé- » dinées), de manière à préparer sûrement la voie pour l'étude » des mêmes problèmes chez les végétaux supérieurs.

» Lors même qu'on craindrait de ne pouvoir appliquer aux » grands végétaux les résultats fournis par ces organismes d'ap- » parence si infime, il n'y aurait pas moins un grand intérêt » à résoudre les difficultés que soulève l'étude de la vie des

» plantes en commençant par celles où la moindre compli-
» cation d'organisation rend les conclusions plus faciles et plus
» sûres : la plante est réduite ici en quelque sorte à l'état cellu-
» laire, et les progrès de la science montrent de plus en plus
» que l'étude des actes accomplis sous l'influence de la vie
» végétale ou animale, dans leurs manifestations les plus com-
» pliquées, se ramène en dernière analyse à la découverte des
» phénomènes propres à la cellule (1). »

DEUXIÈME PARTIE.

RECHERCHES
SUR LE DÉVELOPPEMENT D'UNE MUCÉDINÉE
DANS UN MILIEU ARTIFICIEL.

L'étude chimique du développement des végétaux les plus simples, dans des milieux artificiels d'une grande simplicité, doit naturellement servir de base à la chimie générale des végétaux : tel est le principe que j'ai essayé de faire ressortir dans la première partie de ce mémoire (page 187). Cette idée a été le mobile du travail que je présente ici sur la végétation d'une Mucédinée spéciale, l'*Aspergillus niger*, dans un milieu artificiel formé de composés définis.

Réaliser les conditions les plus favorables à la production de ce végétal ; chercher quels sont les éléments physiques ou chimiques qui influent sur son développement ; mesurer numériquement les effets de chacun d'eux ; découvrir par l'analyse les transformations des substances qui prennent part à la nutrition du végétal ; en un mot, déterminer complétement l'équation chimique qui résume le phénomène vital ; enfin des résultats obtenus dégager les conséquences générales qu'ils comportent : tel était le problème à résoudre.

On comprendra sans peine que j'aie laissé cette tâche

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LXIV, p. 109.

inachevée : après avoir réuni les conditions les plus essentielles à la végétation de l'*Aspergillus*, j'ai cherché principalement à déterminer l'influence de chacune d'elles sur le développement de cette Mucédinée.

I

EXPOSÉ DE LA MÉTHODE SUIVIE DANS CE TRAVAIL.

Principes généraux de la méthode. — La propriété des végétaux de se développer dans des milieux artificiels, exclusivement formés de composés chimiques définis, est assurément un des côtés les plus intéressants de leur histoire. Quand on a réussi à composer un pareil milieu, propre à la nutrition d'un végétal déterminé, voici la marche à suivre pour étudier l'influence de diverses circonstances physiques ou chimiques sur le développement de ce végétal : On disposera un vase rempli d'un mélange artificiel dans les conditions les plus favorables pour la végétation ; on y sèmera des germes du végétal, qu'on laissera croître pendant le temps nécessaire : cet essai, qu'on reproduit identiquement dans chaque série d'expériences, est l'*essai type,* celui auquel on compare tous les autres. Parallèlement à ce premier essai, on en disposera un autre qui ne diffère du premier que *par la seule circonstance qu'on se propose d'étudier.* On pèsera séparément à l'état sec les deux récoltes obtenues en même temps ; *et le rapport numérique des poids de ces deux récoltes mesurera l'influence de la circonstance dont il s'agit.* L'analyse des produits de la végétation viendra au besoin compléter les résultats de la synthèse. En faisant ainsi varier un à un tous les éléments du problème, on embrassera jusque dans ses moindres détails le phénomène de la végétation.

D'ailleurs cette méthode se présente d'elle-même à l'esprit ; le problème du développement des végétaux dans un milieu artificiel une fois posé, c'est la seule méthode qu'on puisse imaginer pour le résoudre, et il n'y a à l'indiquer absolument aucun mérite.

Mais avant de pouvoir la mettre en pratique, il y a plus d'une difficulté à vaincre :

1° Le point capital est de *réaliser un milieu artificiel propre au développement du végétal* qu'on veut étudier : c'est là une découverte d'une importance, d'un mérite incontestables, à laquelle peuvent seuls conduire des travaux suivis sur la végétation, et non le hasard ; car parmi les milieux innombrables qu'on pourrait former en mélangeant de toutes les manières toutes les substances chimiques définies, il n'en est qu'un très-petit nombre qui conviennent à la nutrition d'un végétal déterminé.

2° Le végétal, pour croître vigoureusement, exige le concours d'un certain nombre d'éléments physiques et chimiques : si le milieu qui doit servir aux *essais types* dont j'ai parlé ne réunit qu'une partie de ces éléments essentiels, la végétation pourra progresser encore, mais chétive et lente. Dans ces conditions défavorables, le problème qui nous occupe ne pourra recevoir qu'une solution incomplète, puisque certains éléments importants de ce problème nous échappent. En outre, il deviendra difficile d'apprécier l'influence des circonstances qui se montreraient les plus actives dans un milieu bien choisi, car l'expérience prouve qu'elles font en général très-peu varier le poids de ces récoltes chétives obtenues dans un milieu mal approprié. Enfin, les causes d'erreur restant à peu près les mêmes, plus la récolte sera faible, toutes choses étant égales, plus l'erreur relative sera grande. Aussi une fois en possession d'un milieu artificiel propre à la végétation, nous aurons avant tout à réaliser un progrès important : *Modifier les conditions du milieu qui doit servir aux essais types, pour accroître autant que possible le poids des récoltes obtenues dans un certain temps avec un poids constant de substances nutritives.*

3° Des *essais types*, placés dans des conditions aussi identiques que possible, donnent néanmoins des récoltes de poids variables entre une limite supérieure P et une limite inférieure P'. Or le rapport $\frac{P'}{P}$, *qui fixe l'erreur relative maxima du procédé d'expérimentation*, est très-important à considérer. En effet, si un essai type donne une récolte p, et un autre essai, qui diffère du premier par la suppression d'une certaine circonstance, une

récolte x, il ne suffit pas, pour conclure que cette circonstance produit sur la végétation un effet utile, qu'on ait $\frac{x}{p} < 1$; il faut encore que $\frac{x}{p}$ soit $< \frac{P'}{P}$. Le procédé sera donc d'autant plus parfait au point de vue de l'exactitude numérique, que $\frac{P'}{P}$ sera plus voisin de l'unité, c'est-à-dire que *les essais types fourniront des récoltes plus constantes;* car plus $\frac{P'}{P}$ se rapprochera de l'unité, plus l'effet mesuré par un même nombre $\frac{x}{p}$ sera nettement appréciable.

En résumé, le degré de perfection de la méthode dont nous nous servirons dépend essentiellement de trois conditions générales :

1° Il faut avant tout découvrir un milieu artificiel propre au développement du végétal qu'on étudie.

2° Le poids des récoltes que peut fournir le milieu destiné aux essais types, dans un temps donné, avec un poids constant de substances nutritives doit être, toutes choses égales d'ailleurs, aussi grand que possible.

3° Les essais types placés dans les mêmes conditions doivent fournir des récoltes dont les rapports numériques s'écartent très-peu de l'unité : celui de ces rapports qui s'en écarte le plus fixe l'*erreur relative maxima du procédé.*

Il y a encore bien d'autres conditions à remplir; mais elles diffèrent d'une expérience à une autre, et ne doivent pas nous occuper ici.

Réalisation des principes précédents. — Ces principes ressortiront plus clairement de l'application que nous allons en faire à la végétation des Mucédinées, et en particulier de l'*Aspergillus.*

Ainsi que je l'ai établi précédemment, c'est à M. Pasteur que revient incontestablement le mérite d'avoir prouvé que les Mucé-

dinées peuvent se développer dans un milieu exclusivement formé de substances artificielles définies, et d'avoir découvert les éléments les plus essentiels à la végétation de ces plantes (voy. 1re partie, page 179). Il semait des spores de Mucédinées dans le mélange suivant :

Eau pure	1000
Sucre	20
Bitartrate d'ammoniaque	2
Cendres de levûre	0,5

Il vit ces Mucédinées (le *Penicillium* en particulier) acquérir un certain développement ; et en supprimant l'un quelconque de ces éléments, sucre, sel ammoniacal, ou matières minérales, il n'obtint plus que des traces de végétation. M. Pasteur, par cette découverte fondamentale, avait ouvert une voie nouvelle ; mais il ne pénétra guère plus avant dans ce genre d'études dont il avait saisi toute la portée.

Du reste, tout progrès important, dans la recherche des lois de ces végétations artificielles, était subordonné à un progrès dans la méthode que quelques chiffres vont mettre en relief.

Au début de mes recherches, je me rapprochai autant que possible des conditions indiquées par M. Pasteur ; j'abandonnai à l'étuve vers 20°, avec semences d'*Aspergillus*, des vases contenant le mélange suivant :

Eau	2000
Sucre	70
Nitrate d'ammoniaque	3
Acide tartrique	2
Phosphate d'ammoniaque	en petite quantité.
Carbonate de potasse	en petite quantité.
Carbonate de chaux	en petite quantité.
Carbonate de magnésie	en petite quantité.

Après quarante-cinq jours de végétation, j'obtins, dans deux essais de ce genre, des récoltes qui pesaient à l'état sec :

L'une........ 3gr,19 | L'autre...... 1gr,77

En supprimant *tous les éléments minéraux*, j'obtins dans les mêmes conditions les poids suivants :

Premier essai.... 0gr,10 | Deuxième essai..... 0gr,07

Enfin des essais dans lesquels le *carbonate de potasse* seul était supprimé, donnèrent respectivement les poids :

2gr,29 | 1gr,11

Ces nombres mettent en évidence l'influence des matières minérales sur le poids des récoltes ; la nécessité du sucre et d'un élément azoté se traduirait par des résultats tout aussi concluants. Mais l'utilité de la potasse ne ressort pas nettement des chiffres qui précèdent ; et pourtant je prouverai que la potasse est éminemment active sur la végétation des Mucédinées. Or, admettons que, les nombres trouvés en supprimant la potasse restant les mêmes, les récoltes avec engrais complet aient été constantes et égales à la plus forte, 3gr,19, on aurait déjà pu conclure avec certitude à l'efficacité de la potasse. Admettons encore que, les récoltes des milieux sans potasse restant toujours les mêmes, les récoltes avec engrais complet aient été dix fois plus fortes :

C'est-à-dire que l'une ait pesé...... 31gr,9, au lieu de....... 3gr,19
— l'autre .... 17gr,7, au lieu de....... 1gr,77

dès lors l'influence de la potasse était mise en pleine lumière.

Si donc, toutes choses restant égales d'ailleurs, on parvenait à rendre les récoltes des essais types plus constantes, et surtout plus fortes dans le même temps pour un même poids de sucre, on parviendrait sans doute à pénétrer plus avant dans l'analyse du phénomène de la végétation des Mucédinées : tel est le progrès que j'ai cherché à réaliser.

A priori, il n'était pas prouvé que ce progrès fût réalisable. A la vérité 3gr,19 de Mucédinée (page 194) obtenus en quarante-cinq jours avec plus de 70 grammes de matières nutritives indiquaient une végétation bien languissante : l'analyse confirmait cette prévision en montrant qu'après la récolte, il restait

encore dans le liquide artificiel les sept huitièmes du poids de chacun des éléments primitifs; et des végétations parallèles dans des liquides naturels d'origine organique se montraient incomparablement plus vigoureuses et plus rapides. Mais cette lenteur du développement des Mucédinées dans les milieux artificiels n'était-elle pas inhérente à la nature même de ces milieux? Les composés artificiels de la chimie, si éloignés des produits multiples élaborés sous l'action de la vie, n'étaient-ils pas moins assimilables que les substances naturelles issues des végétaux eux-mêmes? En voyant les influences les plus fugitives impressionner les végétaux, les moindres forces altérer les composés organiques qui les constituent, ne devait-on pas croire que l'art serait impuissant à réunir ces conditions délicates, favorables à la vie, que la nature réalise à merveille?

Ces craintes étaient pourtant atténuées par le fait que les végétaux supérieurs peuvent croître assez vigoureusement dans un milieu formé d'éléments salins (page 129). D'autre part, je remarquai que le développement des Mucédinées dans un milieu artificiel était assez rapide dans les premiers jours, puis se ralentissait indéfiniment. Je pensai alors que ce milieu artificiel contenait tous les éléments nécessaires à la vie du végétal; qu'il était par lui-même assez propre à l'assimilation; mais que la végétation, en le transformant, produisait quelque substance nuisible aux progrès de la Mucédinée. Je cherchai donc à rendre la marche de la végétation plus rapide, en modifiant les proportions ou les composés des éléments chimiques qui constituaient le milieu type : tous mes efforts furent infructueux.

Je me demandai enfin si les corps simples, que je réunissais sous des formes convenables dans le milieu type dont j'ai parlé, suffisaient à la vie du végétal : la présence de quelque autre élément essentiel à la végétation parmi les impuretés des substances employées suffisait dès lors à expliquer, et le développement incomplet du végétal dans un tel milieu, et le ralentissement observé après quelques jours. Cette hypothèse, je l'avoue, était assez invraisemblable, puisque j'avais réuni, pour composer le milieu type, précisément les substances regardées jusqu'ici

comme suffisant à la vie des végétaux supérieurs (page 136), et que la matière même de ces derniers fournit aux Mucédinées un excellent terrain : cependant cette hypothèse même a été justifiée par l'expérience.

C'est principalement en ajoutant aux éléments du milieu type indiqué à la page 195, du soufre, du zinc, du fer, du silicium, à l'état de sels ; en modifiant les proportions des éléments essentiels ; en portant à 35 degrés la température du milieu ; en faisant développer les Mucédinées dans des vases peu profonds, dans des conditions convenables d'aération et d'humidité, que je suis parvenu aux résultats suivants :

Je puis obtenir en six jours, avec 80 grammes de matières nutritives, 25 grammes de récolte ; ce poids constitue, dans le même temps et pour la même quantité d'aliments, un rendement 50 fois plus fort que le rendement des premières expériences.

Tandis que le poids des récoltes produites dans des essais types aussi identiques que possible variait, au commencement de mes recherches, dans le rapport de 1 à 1,8, je suis parvenu à rendre ce poids constant à 1/20e près de sa valeur.

Je dois également faire remarquer qu'il m'est arrivé plus d'une fois, dans le cours de mes recherches, de voir les milieux ensemencés avec des spores d'*Aspergillus* envahis par des végétations étrangères, principalement par le *Penicillium :* les résultats d'expériences qui se rapportaient à des végétaux d'espèces différentes n'étaient donc plus comparables. J'ai réussi enfin à me rendre complétement maître de cette difficulté.

En résumé, la méthode d'expérimentation fondée sur la végétation des Mucédinées, dans les milieux artificiels formés de composés définis, était connue depuis les travaux de M. Pasteur ; je l'ai appropriée à des recherches précises :

1° En augmentant considérablement le poids des récoltes fournies dans un certain temps par un certain poids de substances nutritives.

2° En rendant plus constant le poids des récoltes obtenues dans des essais semblables.

3° En forçant l'*Aspergillus niger* à se développer seul, sans mélange d'espèces étrangères.

Dans ce genre de recherches, bien des précautions sont nécessaires pour assurer aux résultats des expériences toute la précision qu'ils comportent; aussi je vais décrire dans tous ses détails le procédé d'expérimentation auquel je me suis définitivement arrêté, et auquel sont dus les progrès que je viens de signaler.

Description des appareils. — Le *local* réservé pour ces recherches était parfaitement aéré; la pureté de l'air n'y était troublée ni par les gaz des laboratoires, ni par d'autres émanations, condition indispensable pour la régularité des résultats, car les Mucédinées sont extrêmement sensibles à certaines influences délétères.

L'*étuve* (fig. 1, pl. 7) destinée à maintenir les végétations dans des conditions convenables de température, d'aération et d'humidité, se composait de trois parties : la caisse, contenant les vases en expérience; l'appareil à chauffage; un appareil destiné à répandre de l'humidité dans l'atmosphère.

1° La première partie consiste en une sorte d'armoire F, s'ouvrant antérieurement par une porte, et ayant 1 mètre de hauteur sur 70 centimètres de largeur et 40 centimètres de profondeur; des tablettes distantes de 20 centimètres sont disposées pour recevoir les vases *m*, *m*, des expériences; un courant d'air ascendant s'établit naturellement à l'aide d'ouvertures pratiquées dans le bas et dans le haut de l'étuve. Ce courant d'air ne doit être ni trop fort ni trop faible : on le règle en fermant plus ou moins les ouvertures supérieures.

2° L'appareil à chauffage BKGF est un système à circulation d'eau chaude : une chaudière de cuivre B, placée dans une salle voisine de celle où est l'étuve, communique avec des tuyaux de plomb K, G, F, convenablement distribués dans l'étuve. Cet appareil est complétement rempli d'eau que la chaleur du foyer met en circulation. Ce foyer *b* consiste en un bec à gaz de Bunsen, constamment allumé, et placé sous la chaudière; les

produits de la combustion, après avoir circulé dans un serpentin E intérieur à la chaudière, s'échappent au dehors. Ce genre de chauffage m'a paru très-préférable au chauffage direct, parce qu'il ne peut pas introduire dans l'étuve des substances volatiles capables de modifier la végétation.

Cependant il importait encore, comme on le verra plus loin, que la température de l'étuve demeurât à peu près constante à 35 degrés. Aussi ai-je adapté à l'appareil de chauffage un instrument que je désigne sous le nom de *thermo-régulateur*, et qui maintient la température d'une étuve invariable à un degré près. Il consiste essentiellement en un gros thermomètre à alcool dont le réservoir R est dans l'étuve, et dont la tige *i*, sortant de l'étuve, communique avec la branche inférieure d'un tube *lchh* en Y; les deux branches latérales de ce tube sont soudées avec le tuyau *aa* d'arrivée du gaz à chauffage, qui est forcé de traverser ces deux branches avant de se rendre au bec de Bunsen; du mercure, faisant suite à l'alcool du thermomètre, remplit la tige *ilchh*, jusqu'au point de croisement *c* des trois branches du tube en Y. Pour peu que la température de l'étuve s'élève, le liquide du thermomètre se dilate; le passage du gaz d'une branche à l'autre du tube en Y diminue, et la flamme du gaz à chauffage diminue également. Un abaissement de température de l'étuve produit un effet inverse. Cette température ne peut donc varier qu'entre des limites très-resserrées (1).

(1) *Note sur les régulateurs pour le chauffage par le gaz.* — La température d'un milieu (étuve, bain, etc.) chauffé par le gaz peut varier, soit lorsque la pression du gaz se modifie, soit lorsque la température extérieure vient à changer. Pour maintenir ce milieu à une température constante, on adapte à l'appareil à chauffage des *régulateurs automatiques*. Il existe des instruments de ce genre qui rendent la pression et, par suite, la flamme du gaz constante. Ils ne remédient donc qu'à l'une des deux causes de variation de température que j'ai signalées. Aussi a-t-on imaginé des régulateurs qui consistent en un thermomètre dont le réservoir plonge dans le bain, et dont le corps dilatable par les moindres changements de son volume fait varier l'arrivée du gaz à chauffage au brûleur. M. Bunsen, l'un des premiers, paraît avoir eu l'idée de cette application du thermomètre. L'air, à cause de la grandeur de son coefficient de dilatation, a été choisi d'abord pour ces appareils, comme *substance thermométrique*. Mais il présente une cause d'erreur notable qui tient à ce que son volume varie non-seulement avec la température, mais avec la pression qu'il supporte. Les liquides sont

3° L'air ambiant, surchauffé dans l'étuve à 35 degrés, devient nécessairement très-sec. Or nous constaterons plus loin qu'il est essentiel que cet air ait un état hygrométrique élevé. Pour atteindre ce but, on a disposé à côté de l'étuve un vase de Mariotte A qui contient de l'eau ordinaire. Cette eau passe à l'aide d'un tube *bb* dans un petit cristallisoir *s*, où elle se maintient à un niveau constant. Des mèches de coton *k* aspirent cette eau par capillarité, et la distribuent sur du coton qui recouvre une partie K des tuyaux de plomb de l'étuve. Le courant d'air qui effleure continuellement ce coton humide et chaud se charge de vapeur d'eau en quantité suffisante pour amener l'hygromètre de Saussure vers 70 degrés.

Les *vases* dans lesquels les végétations se développent doivent être peu profonds; en outre, ils doivent être inaltérables par les liquides qu'ils contiennent, comme je l'établirai plus loin. J'ai choisi définitivement des cuvettes de *porcelaine* rectangulaires, pouvant contenir 1500 centimètres cubes de liquide, ayant en profondeur 4 centimètres, en largeur 16 centimètres, en longueur 28 centimètres. Ces vases se placent sur les tablettes de l'étuve sans être couverts.

Description des expériences. — Après avoir décrit les appareils spéciaux qui ont servi aux recherches consignées dans ce

à l'abri de cet inconvénient, et le mercure, par ses propriétés générales, est celui qui convient au plus grand nombre de cas; mais il est peu dilatable, et les régulateurs fondés sur l'emploi de ce liquide sont peu sensibles. Pour remédier à cette imperfection, et pour rendre les appareils de ce genre commodes et exacts en même temps, j'ai adopté la disposition suivante (fig. 2, pl. 7) : R est un gros thermomètre de verre rempli de mercure jusqu'en *c*; le gaz à chauffage entre dans cet appareil par le tube S, pénètre dans la chambre extérieure *r*, passe de là dans la chambre intérieure *r'* par l'intervalle qui existe entre le tube *m* et le niveau du mercure; enfin il sort en S' pour se rendre au brûleur. Le robinet *e* sert à fournir directement au bec à gaz la quantité de gaz minima dont on a besoin. La pièce supérieure de l'appareil est de fonte, disposée de manière à refroidir par le gaz lui-même la partie supérieure du mercure, à l'empêcher de s'évaporer, et en même temps à donner à l'appareil une grande sensibilité. Enfin une tige mobile *tt* d'acier est graduée en degrés centigrades; il suffit de la faire affleurer en *i* jusqu'à un certain point, pour qu'un bain chauffé au gaz et mis convenablement en relation avec le régulateur atteigne la température marquée en ce point et s'y maintienne.

mémoire, je vais indiquer en détail la suite des opérations à exécuter sur la végétation d'un *essai type*. Ces opérations sont au nombre de quatre : préparer le liquide artificiel ; l'ensemencer de spores d'*Aspergillus ;* faire végéter la Mucédinée ; récolter.

1° On réunit dans le vase destiné à l'*essai type* les substances chimiques suivantes :

Eau	1500
Sucre candi	70
Acide tartrique	4
Nitrate d'ammoniaque	4
Phosphate d'ammoniaque	0,60
Carbonate de potasse	0,60
Carbonate de magnésie	0,40
Sulfate d'ammoniaque	0,25
Sulfate de zinc	0,07
Sulfate de fer	0,07
Silicate de potasse	0,07

Ces substances doivent être pesées avec soin, et aussi pures que possible. Le mélange est abandonné à lui-même pendant quelques heures, pour que les matières solides aient le temps de se dissoudre ; enfin, pour le rendre homogène, on remue le liquide avec une spatule de porcelaine.

2° Pour ensemencer ce liquide, il suffit de promener sur toute son étendue l'extrémité d'un pinceau avec lequel on a recueilli des spores sur une végétation d'*Aspergillus* bien pure, qui ne soit pas trop desséchée ; ces spores se disséminent et restent flottantes à la surface du liquide.

Lorsqu'on ne possède point encore d'*Aspergillus*, il suffit, pour se procurer ce végétal à l'état pur, d'abandonner à l'étuve certaines substances naturelles, telles que de l'eau de levûre acidulée, du pain humide, des tranches de citron, une dissolution de tannin, ou encore la dissolution artificielle indiquée précédemment. Les spores d'*Aspergillus* qui se trouvent au nombre des germes de l'atmosphère peuvent tomber sur ces matières et s'y développer pêle-mêle avec d'autres organismes. Lorsqu'on voit apparaître l'*Aspergillus*, qui se distingue tout d'abord par

ses fructifications noires, on le sème à nouveau sur un liquide artificiel, et l'on finit par l'obtenir exempt de mélange.

3° *L'essai type* étant ainsi préparé, on le met à l'étuve, dont la température est réglée à 35 degrés, et l'air humide constamment renouvelé.

Les spores ne tardent pas à se développer, et au bout de 24 heures, ou même de 18 heures si elles n'ont pas été soumises à une trop forte dessiccation, les filaments du mycélium forment à la surface du liquide, par leur enchevêtrement, une membrane continue, d'aspect blanchâtre. Lorsque l'atmosphère de l'étuve est assez humide, le courant d'air très-modéré ; lorsque les spores sont semées uniformément sur toute l'étendue du liquide, et qu'elles ne sont pas trop sèches ; lorsqu'enfin les vases qui les contiennent ont la forme rectangulaire, cette membrane couvre toute la surface du liquide. Mais, dans d'autres circonstances, j'ai souvent vu les spores se rassembler en certains points, et la membrane ne couvrir qu'une partie plus ou moins restreinte de la surface du liquide : cet accident est à éviter, car si la surface des végétations varie d'un essai à un autre, les résultats ne seront plus comparables. La cause de ce rassemblement des spores se trouve évidemment dans les mouvements que leur impriment les courants d'air, et dans le phénomène de l'attraction capillaire de petites sphères qui flottent à la surface d'un liquide. Il est encore à remarquer que jamais la végétation n'est partielle sur un liquide qu'on ensemence pour la seconde fois après avoir enlevé une première végétation.

Au bout de 48 heures, la membrane dont j'ai parlé est déjà très-épaisse; elle devient légèrement jaunâtre, puis elle passe au brun foncé. Enfin, après trois jours de végétation, elle est devenue tout à fait noire à sa surface supérieure. Ce changement de teinte est dû à l'apparition des spores, qui passent successivement du jaune au brun et au noir. C'est après trois jours complets de végétation qu'on récolte la moisissure.

Celle-ci enlevée, on sème de nouveau des spores sur le liquide, on remet le vase à l'étuve, et trois jours après on obtient une nouvelle récolte plus faible que la première. Le liquide restant,

dans les conditions où nous nous sommes placés, est alors à peu près épuisé et incapable de donner une troisième récolte appréciable.

4° Pour récolter l'*Aspergillus*, on enlève avec les doigts la membrane très-consistante qui s'est formée le troisième jour; on la presse fortement dans la main pour exprimer la majeure partie du liquide qui l'imprègne; on l'étend sur une soucoupe, et on la fait sécher, d'abord vers 50° avec la chaleur perdue du foyer de l'étuve, puis à 100°, à l'étuve de Gay-Lussac. Il ne reste plus qu'à la peser.

Il est maintenant facile de comprendre comment on fera une expérience complète destinée à faire ressortir l'influence d'un élément déterminé sur la végétation. On préparera l'*essai type* comme je l'ai dit; on disposera un *second essai* qui ne diffère du premier que par le seul élément dont on veut apprécier l'influence; on placera ces deux essais à l'étuve l'un à côté de l'autre; on fera deux récoltes successives dans chaque vase, comme je l'ai expliqué; on les pèsera à l'état sec. L'influence de l'élément en question sera mesurée par le rapport des poids des récoltes obtenues après les trois premiers jours de végétation dans le *second essai* et dans l'*essai type*. En prenant le rapport des poids des récoltes *totales* fournies en six jours par les deux essais, on aura un second nombre qui mesurera encore l'influence du même élément, mais avec plus d'exactitude.

Ce procédé offre donc l'avantage de représenter chaque résultat par deux nombres qui se complètent et se vérifient réciproquement.

Quand on tient à obtenir des nombres très-exacts, il importe de ne comparer que des essais placés *simultanément* à l'étuve : les circonstances extérieures, température, humidité, durée de végétation, etc., sont alors plus égales de part et d'autre, et les résultats sont plus constants que si les deux végétations s'étaient développées à des époques différentes.

Un simple exemple fera comprendre immédiatement comment on applique ce procédé :

On a mis à l'étuve les essais suivants dans le but d'étudier l'effet de la *potasse* sur le développement de l'*Aspergillus* :

N° 1. Milieu type de la page 201 : eau, 1500 ; sucre, 70, etc. (spores d'*Aspergillus*).

N° 2. Comme le n° 1, moins la potasse.

	N° 1.	N° 2.
	gr	gr
Première récolte (après trois jours)	14,4	0,80
Deuxième récolte (après trois autres jours)	10,0	0,12
Récoltes totales	24,4	0,92

Rapport des poids des deux premières récoltes.... $\frac{0,8}{14,4} = \frac{1}{18}$

Rapport des poids des récoltes totales........... $\frac{0,92}{24,4} = \frac{1}{26}$

Ces deux rapports, et surtout le second, mettent bien en évidence l'efficacité de la potasse dans la végétation; et cet exemple indique suffisamment la marche à suivre dans les études de ce genre. Il confirme d'ailleurs ce que j'ai avancé à la page 198, que j'ai réussi à accroître considérablement le poids des récoltes des essais types; il met en relief les avantages de ce perfectionnement, puisque l'utilité de la potasse, qui ne ressortait pas de l'expérience de la page 195, devient ici incontestable.

Deux autres essais types, mis à l'étuve en même temps que le n° 1, ont produit en six jours, par deux récoltes, chacun 24 grammes. Le n° 1 avait donné $24^{gr},4$. Le rapport de ces deux nombres est $\frac{24,4}{24} = 1,02$, résultat conforme à ce que j'ai dit à la page 198, sur l'invariabilité de poids des récoltes obtenues dans les essais types.

D'autre part, deux essais types, placés à l'étuve dans des conditions aussi identiques que possible à celles du n° 1, *mais à une autre époque*, ont donné en six jours des récoltes égales à $26^{gr},5$ et $26^{gr},3$. Ces deux nombres diffèrent des deux précédents de $1/10^e$ de leur valeur environ, et prouvent, comme je l'ai dit page 203, que les essais mis à l'étuve à des époques différentes

donnent des résultats moins comparables que ceux qui y ont été placés en même temps.

Telle est la forme la plus exacte et la plus parfaite que j'aie réussi à donner à la méthode dont je me suis servi ; mais on remarquera dans l'exposé de ces recherches que, plus d'une fois, lorsque je n'avais pas besoin d'une grande précision numérique, je ne me suis pas astreint à toutes les précautions que j'ai indiquées.

Avant d'exposer les résultats auxquels cette méthode m'a conduit, il me reste à décrire les caractères précis auxquels on reconnaît l'*Aspergillus niger*.

L'aspect qu'offre ce végétal dans son développement (voy. page 207) suffit dans bien des cas pour le distinguer des autres Mucédinées. Lorsqu'on veut le reconnaître sûrement, il faut recourir aux caractères micrographiques suivants que M. Van Tieghem a déterminés dans ses recherches sur la fermentation gallique :

« Stipites erecti, simplices, continui, ad basim geniculati ;
» capituli basidiis elongatis, radiatis, confertis, omnino tecti.
» Catenæ sporarum fasciculatim junctæ, subæquales. Sporæ
» sphæricæ, verrucosæ, nigrescentes, $0^{mm},004$ ad $0^{mm},005$ dia-
» metro æquantes. » (Voy. fig. 3, pl. 7.)

C'est aussi M. Van Tieghem qui a le premier classé scientifiquement cette Mucédinée, et l'a nommée *Aspergillus niger* (1).

II

DE L'INFLUENCE QUE DIVERS ÉLÉMENTS PHYSIQUES OU CHIMIQUES EXERCENT SUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'*Aspergillus niger*.

En faisant varier une à une les diverses circonstances qui peuvent influer sur la végétation de l'*Aspergillus*, j'appliquerai la méthode précédemment exposée à la recherche des effets de chacune d'elles.

(1) *Annales des sciences naturelles*, 5e série, vol. VIII, p. 240.

*Influence de la durée de la végétation sur le développement de l'*Aspergillus. — Il m'a paru utile de suivre le développement progressif de l'*Aspergillus* aux diverses époques de la végétation ; dans ce but, j'ai mis en même temps à l'étuve quatre vases contenant chacun des semences d'*Aspergillus* avec une dissolution composée de :

Eau	500
Sucre	13,30
Acide tartrique	1,50
Nitrate d'ammoniaque	0,58
Phosphate d'ammoniaque	0,10
Carbonate de potasse	0,10
Carbonate de magnésie	0,08
Sulfate d'ammoniaque	0,05
Sulfate de fer	0,02
Sulfate de zinc	0,02
Silicate de potasse	0,02

En recueillant les moisissures formées, après des intervalles de temps inégaux, j'ai obtenu les résultats suivants, que j'ai du reste vérifiés en répétant l'expérience :

	POIDS DES RÉCOLTES.		RAPPORT des poids des récoltes au nombre de jours.	ACCROISSEMENT du poids des récoltes.	
		gr	gr		gr
1er essai.	Après 1 j. de végétation.	0,25	$\frac{0,25}{1} = 0,25$	Pendant le 1er jour.	0,25
2e essai.	— 2 jours	2,00	$\frac{2}{2} = 1,00$	Pendant le 2e jour.	1,75
3e essai.	— 3 jours	2,90	$\frac{2,9}{3} = 0,97$	Pendant le 3e jour.	0,90
4e essai.	— 4 jours	3,30	$\frac{3,3}{4} = 0,82$	Pendant le 4e jour.	0,40

On voit, par la seconde colonne de ce tableau, que la végétation fait des progrès continuels pendant quatre jours au moins.

Les nombres de la quatrième colonne représentent les poids de

Mucédinée qui doivent se former successivement pendant l'unité de temps dans un même essai : ces poids croissent d'abord jusqu'à un maximum, qu'ils atteignent vers le second jour pour diminuer ensuite. Ce résultat s'explique facilement : les organes en voie de formation naissent des organes déjà formés ; voilà pourquoi tout d'abord les parties de l'*Aspergillus* qui se développent dans un temps donné sont d'autant plus nombreuses que les parties déjà développées sont plus considérables. A mesure que la membrane qui résulte de l'enchevêtrement du mycélium s'épaissit, elle s'oppose de plus en plus au contact de l'oxygène de l'air et des éléments du liquide sous-jacent, condition indispensable à la formation de nouveaux organes ; en même temps le liquide en contact immédiat avec cette membrane s'appauvrit en éléments nutritifs. Par ces deux causes, l'accroissement du végétal ne devra donc pas tarder à se ralentir : c'est en effet ce qu'on observe dès le troisième jour.

La troisième colonne du tableau conduit à une conséquence qu'il est utile de connaître. Dans les essais sur la végétation, on doit viser à obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, le poids de récolte le plus considérable dans le même temps. Or, les poids moyens de Mucédinée formés en vingt-quatre heures sont à peu près égaux dans le deuxième et dans le troisième essai, et plus forts que dans le premier et dans le quatrième. On devra donc, dans la pratique, faire les récoltes après deux ou trois jours de végétation ; mais comme, d'autre part, il faut restreindre le nombre des opérations autant que possible, le mieux sera de fixer à trois jours l'intervalle des récoltes successives de chaque essai : telle est la règle qui a été adoptée page 203.

La formation des fructifications suit une marche analogue ; seulement, ces organes ne commencent à paraître que vers le second jour ; ils passent du jaune au brun et au noir, et à la fin du troisième jour, quand toutes les circonstances favorables sont réunies, ils sont parvenus à maturité : la limite de leur accroissement est à peu près atteinte.

*Influence de la température sur la végétation de l'*Aspergillus. — Parmi les circonstances physiques qui influent sur la végétation de l'*Aspergillus*, la température doit spécialement fixer notre attention.

Pour en mesurer les effets, j'ai mis à l'étuve, à des *températures différentes*, des vases de porcelaine contenant chacun 700 centimètres cubes d'eau, 19 grammes de sucre, et les autres substances nécessaires en proportions convenables. Les moisissures recueillies et pesées après trois jours de végétation ont donné les résultats suivants :

Températures.	Poids des récoltes.
	gr
19° (centigrades)	0,3
22	0,6
27	1,2
29	2,5
32	3,5
34	4,2
37	3,8
39	3,0
42 à 43	traces

C'est vers 35° que la récolte paraît atteindre, toutes circonstances étant égales d'ailleurs, son poids maximum ; ce poids diminue lentement d'abord, plus rapidement ensuite, de part et d'autre de 35°, jusqu'à 19° d'une part et 42° de l'autre, qui sont à peu près les limites extrêmes de la végétation de l'*Aspergillus*.

Pour déterminer plus exactement la température du maximum des récoltes, j'ai répété l'expérience qui précède en faisant varier la température vers 35°, et en opérant successivement dans l'air sec et dans l'air humide. Voici les résultats qui fixent ce maximum à 34 degrés centigrades :

Expérience dans l'air sec (hygromètre de Saussure, 10 degrés).

Températures.	Poids des récoltes.
o	gr
29,0	2,7
33,0	4,0
38,5	3,0
39,5	2,7

Poids maximum vers 34 degrés.

Expérience dans l'air humide (hygromètre de Saussure, 70 degrés).

Température.	Poids des récoltes.
°	gr.
32,0	4,16
34,0	4,60
36,0	4,10

Maximum vers 34 degrés.

Si au-dessous de 19° l'*Aspergillus* ne se développe plus sensiblement, cela tient à ce que la végétation de cette Mucédinée est paralysée par des Mycodermes et des Infusoires qui envahissent le liquide ; mais si l'on éloigne ces productions étrangères, l'*Aspergillus* se développe encore. En voici la preuve. Si l'on fait séjourner à l'étuve, à 35°, pendant vingt-quatre heures, un essai avec liquide artificiel et semences d'*Aspergillus*, il se forme une membrane de mycélium ; si on l'abandonne alors pendant plusieurs jours vers 15° ou 16°, les organismes étrangers ne se forment plus, et le poids de la membrane s'accroît sensiblement.

J'ai suivi également le développement des fructifications à diverses températures, en opérant dans un air humide, qui est plus favorable à la formation des spores qu'un air sec :

Un essai maintenu à une température inférieure à 20° pendant plus de quinze jours n'a pas produit de fructifications ; la surface supérieure de la moisissure est restée blanche.

Une autre moisissure à 24° est devenue légèrement brune après douze jours de végétation ; après quinze jours, elle a commencé à noircir.

A 31°, j'ai vu la teinte blanche du mycélium de l'*Aspergillus* passer au jaune brun le troisième jour ; après quatre jours, elle est devenue noire.

A 34°, la teinte jaune apparut après trente-six heures ; le troisième jour, toute la surface de la moisissure était noire.

A 38°, une moisissure ne brunit qu'après trois jours ; le quatrième, elle devint noire.

A 41°, la teinte blanche se modifia encore, mais avec beaucoup de lenteur.

C'est donc également vers 34° que les fructifications se forment le plus rapidement ; à mesure qu'on s'éloigne de cette température, leur apparition devient de plus en plus lente, et les limites extrêmes de leur développement sont un peu plus resserrées que celles du développement du mycélium.

La température dont je viens de parler a besoin d'être définie exactement : *c'est la température même du liquide sur lequel végète la Mucédinée.* Elle ne doit pas être confondue avec *la température de l'atmosphère de l'étuve, qui est sensiblement plus élevée*, comme l'indiquent les nombres suivants :

Circonstances essentielles de la végétation.	Température du liquide.	Température de l'air de l'étuve.
La végétation s'opère dans une capsule découverte de 700cc,0 ; un hygromètre à cheveu placé dans l'étuve marque 10 degrés.	33°,0	38°,0
	36,0	42,0
Capsule fermée par une lame de verre (hygromètre, 10 degrés)........................	35,0	36,0
Capsule ouverte ; hygromètre, 60 degrés.........	34,0	36,5
	38,5	41,5
Capsule ouverte ; hygromètre, 70 degrés.......	34,0	35,0

Cette différence entre les températures correspondantes de l'air et du liquide est due évidemment au refroidissement du liquide par évaporation : car elle est plus grande dans un vase découvert que dans un vase couvert, plus grande à 40° qu'à 36°, plus grande dans l'air sec que dans l'air humide; en un mot, elle augmente avec les circonstances qui activent l'évaporation.

Dans la pratique, il convient, pour favoriser autant que possible le développement de l'*Aspergillus*, de maintenir à 34° la température des dissolutions artificielles sur lesquelles il végète, ou encore de porter à 35° la température de l'air de l'étuve, pourvu que l'hygromètre de Saussure y marque 70° : ce sont ces conditions que j'ai indiquées dans l'exposé de la méthode (page 199).

*Influence de l'état hygrométrique de l'air sur la végétation de l'*Aspergillus. — L'état hygrométrique de l'air en contact avec les essais exerce sur eux une influence complexe :

1° La membrane organisée qui sépare le liquide nutritif de

l'air ambiant ne protége pas ce liquide contre l'évaporation ; et celle-ci est d'autant plus forte que l'état hygrométrique de l'air est plus faible : j'ai vu souvent le volume du liquide de mes essais se réduire à la moitié ou au tiers du volume primitif pendant la durée de la végétation, lorsque les vases étaient découverts et le liquide à la température de 34°, l'hygromètre de Saussure marquant 10° dans l'air de l'étuve.

2° La sécheresse de l'air, en général, met obstacle à la formation des fructifications. Par exemple, la température du liquide étant à 34°, si l'hygromètre à cheveu marque 60°, les fructifications apparaissent à la fin du second jour et atteignent leur complet développement à la fin du troisième. Mais si l'hygromètre ne marque que 10°, la membrane de la Mucédinée présente à la fin du second jour une surface lisse et non veloutée comme dans le premier cas; elle ne commence guère à brunir que le troisième jour, et de place en place ; même à la fin du sixième jour, les fructifications ne couvrent pas encore toute la surface.

3° L'état hygrométrique exerce une influence spéciale sur le poids des récoltes ; en voici un exemple :

Deux séries de végétations parallèles, dans l'air sec et dans l'air humide.			Première série. Hygromètre, 10°,0.	Deuxième série. Hygromètre, 60°,0.
Température,	34°,0	. Aspect après 12 heures :	Pas le moindre développement.	Les spores commencent visiblement à germer.
—	34°,0	— 24 — :	Commencement de germination.	Pellicule couvrant déjà toute la surface.
			gr.	gr.
—	34°,0.	Récoltes après 2 jours.....	1,7	2,5
—	29°	— 3 —	2,8	2,9
—	33°	— 3 —	4	4,2
—	38°	— 3 —	2,5	3,2

On voit par ce tableau que la végétation dans l'air sec est d'abord en retard sur la végétation dans l'air humide; puis cette différence s'efface, et après trois ou quatre jours les récoltes tendent à devenir à peu près égales.

En second lieu, les récoltes obtenues dans des circonstances déterminées sont moins constantes dans l'air sec que dans l'air humide :

Des vases contenant 700 centimètres cubes d'eau, 19 grammes

de sucre et le reste à proportion, ont donné dans l'air humide les récoltes suivantes :

	gr.
Nos 1	4,3
2	4,3
3	4,7

Rapport de la plus forte à la plus faible récolte : 1,1.

Des vases semblables aux premiers, mais placés dans l'air sec, ont donné les résultats :

	gr.
Nos 1	3,2
2	3,8
3	4
4	4,2

Rapport des deux récoltes extrêmes : 1,3.

L'effet de l'état hygrométrique de l'air sur l'évaporation du liquide explique les effets observés sur la végétation : par suite de cette évaporation, la dissolution en contact avec le végétal se concentrera plus ou moins, circonstance qui influe généralement, comme on le verra plus loin, sur le poids des récoltes. Mais cette concentration sera surtout très-forte dans les cellules superficielles de la membrane du mycélium : or, la concentration des liquides, poussée à l'excès, nuit au point d'arrêter tout progrès de la végétation ; il n'est donc pas étonnant que les fructifications qui naissent sur les cellules superficielles soient, par cette circonstance, entravées dans leur développement.

Il résulte de ce qui précède que la vapeur d'eau qui est contenue naturellement dans l'air de l'étuve chauffé à 35°, et qui correspond à 10° de l'hygromètre de Saussure, ne suffit pas pour assurer la marche régulière de la végétation ; si l'on veut obtenir des résultats très-exacts, il faut ajouter de la vapeur d'eau à l'atmosphère, de manière à amener l'hygromètre de Saussure vers 60° ou 70°. On a fait précédemment (page 200) l'application de ce principe.

Influences diverses. — C'est principalement par son oxygène que l'air intervient dans la végétation de l'*Aspergillus*, car cette

Mucédinée respire en transformant, à l'aide de l'oxygène atmosphérique, le carbone du sucre en acide carbonique. Cet élément est donc indispensable au développement de cette plante. La nécessité du renouvellement de l'air est une conséquence de ce principe : aussi, dans un vase clos, les progrès de la végétation ne tardent pas à s'arrêter lorsque l'oxygène libre est épuisé.

Cependant l'air ne doit pas être renouvelé avec une vitesse supérieure à celle qui suffit à fournir amplement au végétal l'oxygène dont il a besoin : car, outre qu'une vitesse exagérée nécessite une plus grande dépense de calorique, elle imprime aux spores récemment semées des mouvements qui retardent la germination, et les empêchent de se développer uniformément sur toute la surface du liquide. En résumé, le renouvellement de l'air, pour être efficace, doit être continu et modéré, comme nous l'avons indiqué page 198.

La nature des vases dans lesquels s'accomplit la végétation n'est pas sans influence. Si la substance d'un vase est attaquable par le liquide artificiel qu'il renferme, l'action favorable ou nuisible qu'il peut exercer sur le végétal est déterminée par la nature des éléments qu'il cède au liquide. Or, on verra plus loin (page 218 et suivantes) comment un grand nombre d'éléments chimiques agissent sur la végétation. Le choix que nous avons fait (page 200) de vases de *porcelaine* a été déterminé par cette considération que la porcelaine est à peu près insoluble dans les dissolutions artificielles dont nous devions nous servir.

Influence de la forme des vases. — La forme même de ces vases et le développement de l'*Aspergillus* ont entre eux des relations simples dont je vais préciser le sens :

1° Toutes choses égales d'ailleurs, le développement de la Mucédinée est plus rapide dans un vase découvert que dans un vase couvert. Voici une expérience à l'appui de cette proposition :

Le 3 octobre 1868, on a mis à l'étuve les deux essais suivants :

N° 1. Vase de porcelaine *découvert* contenant :

Eau................	1500
Acide tartrique........	4
Sucre......	70

Matière azotée et matières minérales en proportions convenables. Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Vase *recouvert* d'une lame de verre, semblable d'ailleurs au n° 1.

	N° 1.	N° 2.	Rapports des récoltes correspondantes.
	gr.	gr.	
6 octobre, 1re récolte..........	18,5	15,5	1,2
9 octobre, 2e récolte..........	7,8	7,5	1,04

Dans le vase découvert, l'évaporation est plus active que dans le vase couvert : on peut donc croire que l'excédant de poids du n° 1 est dû aux substances du milieu artificiel, qui imprègnent la récolte en quantité d'autant plus grande que le liquide est plus concentré par l'évaporation. Pour lever cette incertitude, j'ai répété l'expérience précédente ; seulement j'ai débarrassé les récoltes de leurs matières solubles en les triturant dans l'eau froide :

N° 1. Vase *découvert* avec mélange artificiel et spores.

N° 2. Vase *couvert* avec mélange artificiel et spores.

On a mis ces vases à l'étuve le 15 novembre 1868.

	N° 1.	N° 2.	Rapport des récoltes correspondantes.
	gr.	gr.	
18 novembre, 1re récolte........	16,8	14,8	1,14
21 novembre, 2e récolte........	6,5	6,2	1,05

Nous retrouvons ici, *dans le vase découvert*, des excédants de poids comparables à ceux de la première expérience, qui ne peuvent cette fois être attribués qu'à un excédant réel de récolte.

2° Toutes choses égales d'ailleurs, le développement de la Mucédinée est d'autant plus rapide, que le liquide nutritif est moins profond :

Expérience du 21 *mars* 1868.

		Épaisseur du liquide.
		c.
Nos 1.	Liquide artificiel contenant : eau, 1000 ; sucre, 26,6, etc. Spores.	1,91
2.	Idem.	2,66
3.	Idem.	6,58
4.	Idem.	14,10
5.	Idem.	20,00

	No 1.	No 2.	No 3.	No 4.	No 5.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1re récolte, 24 mars. Poids de la 1re récolte..	7,8	6,8	3,5	1,6	1,3
2e récolte, 27 mars. Somme des deux 1res récoltes	8,8	8,6	5,9	3,2	2,5
3e récolte, 31 mars. Somme des trois 1res récoltes	8,9	8,8	7,5	4,6	3,7
4e récolte, 3 avril. Somme des quatre 1res récoltes	8,9	8,8	8,0	5,8	4,6
5e récolte, 7 avril. Somme des cinq récoltes réunies	8,9	8,8	8,15	6,5	5,3

On peut encore objecter ici que, dans les vases peu profonds, le liquide se concentre fortement par l'évaporation ; que, par suite, la proportion des substances de ce liquide qui imprègnent la récolte devient plus considérable : que c'est là la cause des différences observées. Cette objection ne peut s'appliquer aux résultats suivants, qui se rapportent à des récoltes débarrassées des matières solubles qu'elles ont absorbées.

Expérience du 31 *mars* 1868.

		Épaisseur.
Nos 1.	Essai contenant 200cc,0 d'eau; 5,33 de sucre, etc.	1 centimètre.
2.	Idem.	2 —
3.	Idem.	3 —

	No 1.	No 2.	No 3.
	gr.	gr.	gr.
1re récolte, 3 avril. Poids de la 1re récolte	2,20	1,70	0,45
2e récolte, 7 avril. 1re récolte et 2e récolte réunies	2,35	2,05	1,00

Voici le résumé d'une expérience de vérification faite dans des conditions plus complexes que les précédentes : les volumes, la forme de la surface libre et la profondeur des liquides différaient d'un essai à un autre.

*Matières nutritives proportionnelles au volume. Spores d'*ASPERGILLUS.

	Volume du liquide.	Forme du vase.	Profondeur.
	cc.		c.
Nos 1	900,0	Vase circulaire	6,2
2	2750,0	Vase circulaire	4,6
3	150,0	Vase rectangulaire	4,3
4	1500,0	Vase rectangulaire	2,8
5	250,0	Vase rectangulaire	2,5
6	1250,0	Vase circulaire	2,2
7	450,0	Vase circulaire	1,9

On a mis ces vases à l'étuve le 21 mai 1868.

Poids des récoltes rapportées par le calcul à un volume de liquide = 1000cc.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1re récolte, 24 mai. Poids de la 1re récolte	6,7	6,7	11,0	12,0	16,0	15,5	18,2
2e récolte, 27 mai. Somme des deux 1res récoltes	11,6	12,6	15,3	16,0	18,0	17,5	18,5
3e récolte, 1er juin. Somme des trois 1res récoltes	14,5	15,8	16,2	17,2	17,2	17,2	18,2
4e récolte, 4 juin. Somme des récoltes	15,5	16,2	16,2	17,2	17,7	17,2	18,2

Ces résultats, dans leur ensemble, confirment la loi relative à l'influence de la profondeur.

Les essais n° 3, n° 4, n° 5, n° 6, n° 7 n'ayant rien produit le 4 juin, ont fourni le poids total de récolte qu'ils étaient capables de donner. Or, ces récoltes définitives ne sont pas tout à fait égales ; elles augmentent à mesure que la profondeur du liquide diminue ; de là cette conséquence :

3° Le poids total des récoltes que peut produire un certain poids d'une même dissolution n'est pas tout à fait constant ; il varie légèrement, en sens inverse de l'épaisseur du liquide sur lequel végète l'*Aspergillus*.

On peut encore remarquer que quelques nombres de l'expérience du 21 mai paraissent en désaccord avec les résultats des autres expériences : l'épaisseur du liquide étant plus faible dans le n° 6 que dans le n° 5, les premières récoltes devraient être plus fortes dans le n° 6 que dans le n° 5; c'est le contraire qui a lieu. De même, le n° 3 et le n° 2 ont pour épaisseurs 4^c,3 et 4^c,6, nombres sensiblement égaux; cependant les sommes de récoltes successives présentent des différences notables du n° 2 au n° 3. Comment expliquer ces anomalies? J'ai mesuré les surfaces libres des liquides du n° 2 et du n° 3, ainsi que les périmètres de ces surfaces; j'ai calculé le rapport de chaque périmètre à la surface correspondante, et j'ai trouvé que le rapport du périmètre à la surface dans le n° 3 était cinq fois plus grand que dans le n° 2. De même le rapport du périmètre à la surface dans le n° 5 était plus grand que dans le n° 6. L'influence du périmètre de la surface du liquide sur la rapidité du développement du végétal suffit donc à expliquer pourquoi la végétation a été plus rapide dans le n° 3 que dans le n° 2, dans le n° 5 que dans le n° 6. De là ce principe :

4° Toutes choses égales d'ailleurs, le développement de l'*Aspergillus* est d'autant plus rapide, que le rapport du périmètre de la surface libre du liquide à la surface elle-même est plus élevé; en d'autres termes, que, à égalité de surface, le périmètre est plus grand. Mais l'influence du périmètre est incomparablement moindre que celle de la profondeur.

Ces divers effets de la *forme des vases* sur la végétation sont en relation directe avec l'intervention nécessaire de l'*oxygène* de l'air dans le développement des Mucédinées. A mesure qu'on diminue l'épaisseur des liquides, on augmente la quantité d'air et, par suite, la quantité d'oxygène en contact avec chaque unité de masse de ces liquides, circonstance évidemment favorable à la rapidité de la végétation. En laissant les vases découverts, ou en augmentant le périmètre de ces vases sans faire varier la surface libre des liquides, on facilite le renouvellement de l'air et, par suite, l'accès de l'oxygène en chaque point de la Mucédinée; on accélère donc encore le développement du vé-

gétal. Enfin, lorsqu'on enlève une récolte formée dans un essai, on la presse pour rejeter une partie du liquide qui l'imprègne; on rejette en même temps les matières nutritives de ce liquide, ce qui constitue pour la récolte suivante une perte de poids qui dépend de la quantité des substances rejetées : or, celles-ci augmentent lorsque l'oxygène fait défaut, parce qu'elles s'accumulent dans la Mucédinée sans se transformer entièrement en matière organisée. On s'explique alors pourquoi les vases profonds, dans lesquels le liquide offre à l'air ambiant une surface de contact insuffisante, fournissent des récoltes totales relativement faibles.

La meilleure forme à donner aux vases, au double point de vue de la rapidité de la végétation et du poids total des récoltes, est celle qui, toutes choses égales d'ailleurs, favorise le plus le contact de l'oxygène de l'air et du liquide artificiel. La forme des vases des *essais types*, décrite à la page 200, a été déterminée d'après ces considérations.

Nous avons examiné jusqu'ici les principales *circonstances physiques* du phénomène de la végétation : les *éléments chimiques* qui exercent quelque influence sur le développement de l'*Aspergillus* réclament à présent notre attention.

*Des sels minéraux vénéneux pour l'*Aspergillus. — En dehors des éléments qui font partie du *milieu artificiel* des essais types (page 201), certaines substances chimiques m'ont paru intéressantes à étudier, en vertu d'une double propriété : en tant que sels minéraux, elles se rapprochent *chimiquement* de la plupart des composés du milieu artificiel propre au développement de l'*Aspergillus*, qui sont également des sels; mais par leur action éminemment toxique sur la Mucédinée, elles contrastent *physiologiquement* avec les substances fertilisantes de ce milieu.

Pour apprécier l'activité de quelques-uns de ces sels, je les ai mêlés en proportions variables au milieu artificiel type, et j'ai comparé les progrès du végétal soumis à leur influence à la végétation normale.

Expérience sur le nitrate d'argent.

Le 16 juillet 1867, j'ai porté à l'étuve les essais suivants :

		Nitrate d'argent.		
N° 1.	Eau, 500; sucre, 13,3; acide tartrique, 0,8; nitrate d'ammoniaque, 0,6; phosphate d'ammoniaque, 0,1; carbonate de potasse, 0,1; carbonate de magnésie, 0,1; sulfate d'ammoniaque, 0,05; sulfate de zinc, 0,03; sulfate de fer, 0,03; silicate de potasse, 0,03. Spores	gr. 0,050000	ou	$\frac{1}{10\,0000}$
N°s 2.	Idem	0,025000	ou	$\frac{1}{20\,000}$
3.	Idem	0,013000	ou	$\frac{1}{40\,000}$
4.	Idem	0,006500	ou	$\frac{1}{80\,000}$
5.	Idem	0,003200	ou	$\frac{1}{160\,000}$
6.	Idem	0,001600	ou	$\frac{1}{320\,000}$
7.	Idem	0,000800	ou	$\frac{1}{640\,000}$
8.	Idem	0,000600	ou	$\frac{1}{800\,000}$
9.	Idem	0,000300	ou	$\frac{1}{1\,600\,000}$
10.	Idem	0,000150	ou	$\frac{1}{3\,200\,000}$
11.	Idem	0,000080	ou	$\frac{1}{6\,400\,000}$
12.	Idem	0	ou	0

Après trois jours passés à l'étuve, les n°s 1, 2, 3, 4 n'ont pas encore donné trace de végétation.

Les n°s 5, 6, 7, 8, 9 présentent quelques flocons du mycélium à la surface du liquide.

Les n°s 10, 11, 12 ont produit respectivement 2 grammes, 2^gr,5, 2^gr,5 de récolte à l'état sec; c'est-à-dire qu'ils n'ont pas subi d'action sensible de la part du sel d'argent.

L'azotate d'argent est donc éminemment vénéneux : il se

montre encore actif à la dose de $0^{gr},0003$ pour 500 gram. de liquide, ou de $1/1\,600\,000^e$ du poids de ce liquide ; car c'est là la proportion de sel d'argent du n° 9, sur la végétation duquel l'influence de ce sel a encore été manifeste. Au-dessous de cette limite, le nitrate d'argent devient à peu près inoffensif, comme l'indiquent les résultats des n°s 10, 11, 12.

Cependant le nitrate d'argent se réduit peu à peu sous l'influence des matières organiques du milieu artificiel ; il finit donc par devenir inactif, après un certain nombre de jours, et alors même que la proportion de ce sel est d'abord supérieure à $\frac{1}{1\,600\,000}$, la végétation reprend son cours habituel.

En essayant de faire végéter l'*Aspergillus* dans un vase d'argent, j'ai été tout d'abord fort surpris de n'obtenir que des traces à peine appréciables de mycélium : cette particularité s'explique par l'action chimique du liquide artificiel sur le métal, qui se transforme, en proportions très-minimes, en sel d'argent qui réagit à son tour sur le développement du végétal. Les vases d'argent, contrairement à ce que j'avais présumé d'abord, sont donc tout à fait impropres aux expériences du genre de celles qui nous occupent.

Expérience sur le bichlorure de mercure.

Le 10 août 1867, j'ai mis à l'étuve les essais suivants :

Nos		Bichlorure de mercure.		
1.	Eau, 200 ; sucre, 6 gr. ; acide tartrique azotate d'ammoniaque et matières minérales dans les proportions ordinaires. Spores.	gr. 0,050000	ou	$\frac{1}{4000}$
2.	Idem.......................	0,025000	ou	$\frac{1}{8000}$
3.	Idem.......................	0,012000	ou	$\frac{1}{16\,000}$
4.	Idem.......................	0,006000	ou	$\frac{1}{32\,000}$
5.	Idem.......................	0,003000	ou	$\frac{1}{64\,000}$
6.	Idem.......................	0,001500	ou	$\frac{1}{128\,000}$

		gr.		
Nos 7.	Idem	0,000800	ou	$\frac{1}{256\,000}$
8.	Idem	0,000400	ou	$\frac{1}{512\,000}$
9.	Idem	0,000200	ou	$\frac{1}{1\,024\,000}$
10.	Idem	0,000100	ou	$\frac{1}{2\,048\,000}$
11.	Idem	0,000050	ou	$\frac{1}{4\,096\,000}$
12.	Idem	0,000025	ou	$\frac{1}{8\,192\,000}$
13.	Idem	0,000000	ou	0

Le 13 août, les nos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 n'ont pas donné de végétation; le n° 8 a produit un seul flocon de mycélium.

Dans les nos 9, 10, 11, 12, l'*Aspergillus* a végété régulièrement; les fructifications ont apparu. Les récoltes, pesées à l'état sec, ont donné les nombres suivants :

	gr.
Dans le n° 9	0,8
— n° 10	1,1
— n° 11	0,9
— n° 12	1,2

Le chlorure de mercure s'est donc montré vénéneux jusqu'à la dose de 1/512 000e ; au-dessous de cette limite, il a été à peu près inactif.

Expérience sur le bichlorure de platine, 10 *août* 1867.

		Bichlorure de platine. gr.		
Nos 1.	Eau, 200; sucre, 6; acide tartrique, nitrate d'ammoniaque et matières minérales en proportions convenables. Spores d'*Aspergillus*	0,0500	ou	$\frac{1}{4000}$
2.	Idem	0,0250	ou	$\frac{1}{8000}$
3.	Idem	0,0125	ou	$\frac{1}{16\,000}$
4.	Idem	0,0062	ou	$\frac{1}{32\,000}$
5.	Idem	0,0032	ou	$\frac{1}{64\,000}$
6.	Idem	0,0000	ou	0

Le 13 août, la végétation n'a point apparu dans les nos 1 et 2; le développement de la Mucédinée s'est effectué régulièrement dans les nos 3, 4, 5, où les poids de récolte sèche se sont élevés respectivement à 0gr,7, 1 gramme, 1gr,2.

Le *bichlorure de platine* a donc été vénéneux, mais seulement jusqu'à la dose minima 1/8000e.

Je n'ai pas fait d'expériences précises sur les *sels d'étain*, mais je me suis assuré qu'ils se comportent encore à l'égard de l'*Aspergillus* comme des poisons assez énergiques.

Expérience sur le sulfate de cuivre, 1er mars 1867.

		Sulfate de cuivre.	
Nos 1.	Eau, 480; Sucre, 13; nitrate d'ammoniaque et autres matières dans les proportions du milieu type. Spores..........	gr. 3,0 ou	$\frac{1}{160}$
2.	Idem............................	2,0 ou	$\frac{1}{240}$
3.	Idem............................	1,0 ou	$\frac{1}{480}$
4.	Idem............................	0,5 ou	$\frac{1}{960}$
5.	Idem............................	0,0 ou	0

Poids des récoltes.

	4 mars. 1re récolte.	7 mars. 2e récolte.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1...............	0,8	0,8	1,6
2...............	1,6	0,9	2,5
3...............	2,0	1,2	3,2
4...............	2,3	1,0	3,3
5...............	2,5	0,7	3,2

Le sulfate de cuivre dans les no 1 et 2, c'est-à-dire à la dose de 1/160e et de 1/240e a sensiblement entravé les progrès de la végétation; mais il a été incomparablement moins actif que les sels précédents, car une proportion de sulfate de cuivre égale à 1/160e du poids du liquide permet encore au végétal de se développer sensiblement.

D'ailleurs je ne prétends pas que les effets de ces sels doivent être attribués en totalité à l'oxyde métallique; et même en ce

qui concerne le *sulfate de cuivre*, l'effet observé appartient peut-être en entier à l'*acide sulfurique.*

J'ai reconnu en effet que l'*acide sulfurique libre* à la dose de 1/500e arrête complétement le développement de la Mucédinée ; mais cet acide, dans la proportion de 1/1000e, a paru dépouillé de toute action nuisible.

M. Van Tieghem a pourtant vu, dans ses recherches sur la fermentation gallique, le développement de l'*Aspergillus* résister à de fortes proportions d'acide sulfurique libre.

Ces deux observations ne sont pas contradictoires ; peut-être en effet que l'action de l'acide sulfurique sur l'*Aspergillus* dépend de la composition du milieu nutritif auquel il est ajouté : or, M. Van Tieghem a principalement étudié cette Mucédinée dans des liquides organiques naturels, tandis que mes expériences se rapportent à des milieux artificiels. En particulier, on conçoit très-bien que, dans mes essais, l'acide sulfurique libre ait déplacé l'*acide nitrique* du nitrate d'ammoniaque, et que les effets apparents de l'acide sulfurique résultent en réalité de l'action de l'*acide nitrique* mis en liberté, que j'ai lieu de croire plus funeste à la végétation que l'acide sulfurique.

Ce qu'il faut remarquer principalement parmi les résultats qui précèdent, c'est que les sels d'argent, de mercure, de platine, sont pour l'*Aspergillus* des poisons très-violents dont la limite d'activité est inférieure aux nombres suivants :

Pour le nitrate d'argent............ $\frac{1}{1\,600\,000}$

Pour le bichlorure de mercure...... $\frac{1}{512\,000}$

Pour le bichlorure de platine....... $\frac{1}{8000}$

Après avoir examiné l'influence qu'exercent sur la végétation les circonstances extérieures au *milieu artificiel des essais types*, je vais aborder l'étude de l'action physiologique des substances de ce milieu ; ce sera la partie essentielle de ce mémoire.

Je rappellerai d'abord la composition du milieu des essais types indiquée page 201 :

Eau...	1500
Sucre candi...	70
Acide tartrique...	4
Nitrate d'ammoniaque...	4
Phosphate d'ammoniaque...	0,6
Carbonate de potasse...	0,6
Carbonate de magnésie...	0,4
Sulfate d'ammoniaque...	0,25
Sulfate de zinc...	0,07
Sulfate de fer...	0,07
Silicate de potasse...	0,07

Pour réunir toutes les substances chimiques essentielles à la végétation de l'*Aspergillus*, il suffit de joindre à ce tableau l'oxygène de l'air.

Toutes ces substances peuvent également être groupées dans l'ordre suivant :

1° Oxygène.
2° Eau.
3° Sucre.
4° Acide tartrique.
5° Composés azotés : acide azotique, ammoniaque.
6° Acide phosphorique.
7° Potasse.
8° Magnésie.
9° Acide sulfurique.
10° Oxyde de zinc.
11° Oxyde de fer.
12° Silice.

Ce sont ces douze éléments que je supprimerai tour à tour pour déterminer l'influence favorable de chacun d'eux sur la végétation de l'*Aspergillus*.

*Intervention nécessaire de l'oxygène, de l'eau, du sucre, de l'acide tartrique dans la végétation de l'*Aspergillus. — Je ne reviendrai pas sur l'efficacité et sur le rôle de l'*oxygène*, que j'ai indiqués précédemment (page 212), sans rien ajouter d'ailleurs à ce qui était connu auparavant sur ce point.

Il est à peine besoin de dire que l'*Aspergillus*, comme tous les végétaux, ne peut pas se développer dans un milieu privé d'*eau :* le rôle principal de cet oxyde est de dissoudre les autres substances qui interviennent dans la formation de cette plante.

Le rôle du *sucre* dans le développement des végétaux inférieurs a été mis en pleine lumière par les études de M. Pasteur (page 177 et suivantes) ; je ne citerai ici qu'un exemple numérique pour donner la mesure des effets de ce composé ternaire sur la végétation de l'*Aspergillus*.

Le 24 décembre 1867, j'ai mis à l'étuve deux essais contenant les substances suivantes :

N° 1. Eau	2750	Carbonate de potasse	0,6			
Acide tartrique	3	Carbonate de magnésie	0,5			
Nitrate d'ammon.	3,5	Citrate de fer	0,1			
Phosphate d'amm.	0,6	Sulfate de zinc	0,1	Sucre.	80	
Sulfate d'amm.	0,3					

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Idem .... Sucre.. 0

	28 décembre. 1re récolte.	4 janvier. 2e récolte.	8 janvier. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1	10,2	5,0	2,5
2	0,27	0,0	0,0

Récoltes totales.

	gr.
Nos 1	17,7
2	0,27

Rapport des deux récoltes totales.

$$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2} \ldots\ldots \frac{17,7}{0,27} = 65$$

L'effet produit par l'addition du sucre à l'élément azoté et aux matières minérales s'est donc traduit ici par un accroissement du poids de la récolte dans le rapport de 65 à 1.

Remarquons encore que 80 grammes de sucre ajoutés dans le n° 1 ont fourni un excédant de récolte égal à 17gr,43 seulement, c'est-à-dire très-inférieur au poids du sucre ajouté, car le rapport du poids du sucre à l'excédant de récolte est : $\frac{80}{17,43} = 4,6$.

Le sucre fournit au végétal le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, c'est-à-dire la presque totalité de sa substance : avec l'oxygène de l'air il alimente la respiration ; le sucre, l'eau et l'oxygène donnent peut-être naissance encore à des produits secondaires. Mais je n'ai pas recherché l'équation de leurs réactions multiples, qu'il appartient à l'analyse de déterminer.

L'*acide tartrique* joue, dans la végétation de l'*Aspergillus* et en général des Mucédinées, un rôle remarquable : vient-on à le supprimer, le liquide est envahi par des infusoires qui entravent le développement de la Mucédinée, phénomène qui se manifeste d'ailleurs dans tous les liquides neutres ou légèrement alcalins.

Ce n'est donc pas à la *nature de ses éléments*, mais bien à sa *propriété acide* que l'acide tartrique doit son efficacité; car l'alcool, le sucre, etc., qui contiennent les mêmes éléments ne peuvent le remplacer, et au contraire la plupart des acides organiques, certains acides minéraux même, tels que l'acide sulfurique en petite quantité, peuvent lui être substitués; mais je n'insisterai pas davantage sur un ordre de faits parfaitement connus depuis les travaux de M. Pasteur. (Voyez page 162.)

*Influence de l'élément azoté sur le développement de l'*Aspergillus. — L'*azote*, par son importance au point de vue de la végétation, se place immédiatement après le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. Aussi je vais étudier expérimentalement les effets des *principaux composés azotés* sur le développement de l'*Aspergillus*.

Première expérience.

			gr
N° 1.	Eau, 3000 ; sucre, 75 ; acide tartrique, 2,5 ; phosphate de potasse, 0,8 ; sulfate de potasse, 0,2 ; magnésie, 0,2 ; cendres, 0,2. Spores d'*Aspergillus*.	Nitrate d'ammoniaque...	3,0
N° 2.	Idem..............................	Nitrate d'ammoniaque...	0,0

On a mis les deux essais à l'étuve le 13 février 1863.

	Récoltes successives.		
	19 février. 1re récolte.	26 février. 2e récolte.	4 mars. 3e récolte.
	gr	gr	gr
N°s 1................	6,0	7,50	2,0
2................	0,0	0,15	0,5

	Sommes des récoltes.		
	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
N°s 1................	6,0	13,50	15,50
2................	0,0	0,15	0,65

Rapports des sommes des récoltes du n° 1 à celles du n° 2.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	»	$\frac{13,5}{0,15} = 90$	$\frac{15,5}{0,65} = 24$

Deuxième expérience.

Le 4 janvier 1869, les deux essais suivants ont été mis à l'étuve :

			gr.
N° 1.	Eau, 1000; sucre, 50; acide tartrique, 2; phosphate de potasse, 0,6; sulfate de magnésie, 0,3; sulfate de zinc, 0,048; sulfate de fer, 0,048; silicate de potasse, 0,048. Spores.	Nitrate d'ammoniaque.	3,0
N° 2.	Idem..................................	Nitrate d'ammoniaque.	0,0

Récoltes successives.

	7 janvier. 1re récolte.	10 janvier. 2e récolte.
	gr.	gr.
Nos 1......	14,8	3,5
2......	0,1	0,02

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	Récolte totale.
	gr.	gr.
Nos 1......	14,8	18,3
2......	0,1	0,12

Rapports des sommes correspondantes.

	1re récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{14,8}{0,1} = 148$	$\frac{18,3}{0,12} = 153$

Le rapport des récoltes avec et sans nitrate d'ammoniaque a varié de 24 : 1 à 153 : 1. Ces deux premières expériences mettent donc hors de doute l'efficacité du *nitrate d'ammoniaque*. J'ai essayé de le remplacer par le *nitrate de potasse* et le *tartrate d'ammoniaque*.

Troisième expérience, commencée le 5 *juillet* 1863.

			gr
Nos 1.	Eau, 3000; sucre, 80; acide tartrique; matières minérales. Spores d'*Aspergillus*.	Nitrate d'ammoniaque.	2,0
2.	Idem..................................	Nitrate de potasse....	5,0
3.	Idem..................................	Tartrate d'ammoniaq..	4,5
4.	Idem..................................	Pas d'azote.	

Récoltes successives.

	8 juillet. 1re récolte.	11 juillet. 2e récolte.	14 juillet. 3e récolte.	18 juillet. 4e récolte.
Nos 1....	9,0	4,3	1,5	1,3
2....	4,5	4,9	4,2	2,4
3....	5,5	6,4	5,5	3,6
4....	Poids inappréciable.	»	»	0,8

	Somme des quatre récoltes successives.	Rapports des récoltes totales à celle du n° 4.
Nos 1.......	16,1	$\frac{16,1}{0,8} = 20$
2.......	16,0	$\frac{16,0}{0,8} = 20$
3.......	21,0	$\frac{21,0}{0,8} = 26$
4.......	0,8	$\frac{0,8}{0,8} = 1$

Cette expérience prouve que le nitrate d'ammoniaque peu être remplacé par le nitrate de potasse ou le tartrate d'ammoniaque ; car les rapports 20, 20, 26, qui mesurent les effets de ces sels à égales quantités d'azote, sont très-rapprochés.

Quatrième expérience (14 *mai* 1863).

			gr
Nos 1.	Eau, 3000 ; sucre, 65 ; acide tartrique ; matières minérales. Spores d'*Aspergillus*.	Nitrate de potasse....	4,5
2.	Idem.	Nitrate de potasse....	0,0

	20 mai. 1re récolte.	26 mai. 2e récolte.	4 juin. 3e récolte.	Récoltes totales.	Rapport des récoltes totales.
Nos 1....	3,8	3,5	2,7	10,0	$\frac{10,0}{0,3} = 33$
2...	0,2	»	0,1	0,3	

Cette expérience confirme la précédente en ce qui concerne les effets du nitrate de potasse sur l'*Aspergillus*.

Cinquième expérience (28 *juin* 1868).

			gr
Nos 1.	Eau, 1000 ; sucre 60 ; acide tartrique ; matières minérales. Spores d'*Aspergillus*.	Nitrate d'ammoniaque.	2,0
2.	Idem..............................	Tartrate d'ammoniaq..	4,5

Poids des récoltes.

	1er juillet. 1re récolte.	4 juillet. 2e récolte.	Récolte totale.
Nos 1.....	18,2	1,8	20,0
2.....	18,5	3,6	22,1

Rapports des récoltes correspondantes.

	1re récolte.	2e récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{18,2}{18,5} = 1,02$	»	$\frac{22,1}{20,0} = 1,10$

Le tartrate d'ammoniaque est donc aussi actif sur la végétation que le nitrate d'ammoniaque ; je remarque même, sans attacher à ce fait plus d'importance qu'il ne mérite, que le tartrate d'ammoniaque s'est montré un peu plus efficace que les nitrates, à égalité d'azote.

En résumé, l'*acide nitrique* et l'*ammoniaque*, à l'état de sels, produisent sur la végétation des effets analogues ; ce résultat ne peut être attribué qu'à la seule propriété commune à ces deux composés si différents, je veux dire à l'azote qu'ils renferment.

La deuxième expérience conduit à une remarque intéressante : en introduisant, dans l'essai n° 1, $1^{gr},05$ d'azote à l'état d'ammoniaque, j'ai obtenu un excédant de récolte égal à $18^{gr},3 - 0^{gr},12 = 18^{gr},18$. Le rapport de l'azote à l'excédant de récolte est donc $\frac{1,05}{18,18} = \frac{1}{17}$: c'est-à-dire que le poids de l'azote est petit relativement au poids de matière organisée dont il provoque la formation.

J'ajouterai encore, sous toutes réserves, que le nitrite de potasse et le cyanure de potassium ne m'ont point paru par eux-mêmes favoriser le développement de l'*Aspergillus*.

Laissant de côté les faits particuliers, je formulerai par les trois propositions suivantes mes conclusions générales relatives à l'action physiologique de l'élément azoté :

1° M. Pasteur a prouvé l'utilité de l'*ammoniaque* dans la végétation des Mucédinées, lorsqu'on l'ajoute à un milieu artificiel formé d'eau, de sucre, d'acide tartrique et de matières minérales.

2° J'ai vérifié sur l'*Aspergillus* ce résultat fondamental, en l'amplifiant, et en le mesurant par le rapport numérique des poids de récoltes obtenues avec et sans ammoniaque, rapport qui s'est élevé jusqu'à 153 : 1.

3° J'ai établi que l'*ammoniaque* peut être remplacée par l'*acide nitrique;* d'où il résulte que c'est à leur azote que ces deux composés si différents doivent leur efficacité.

*Influence de l'acide phosphorique, de la potasse, de la magnésie, de l'acide sulfurique sur le développement de l'*Aspergillus. — Les effets apparents de l'*acide phosphorique*, de la *potasse*, de la *magnésie*, de l'*acide sulfurique*, sur le développement de l'*Aspergillus*, sont assez comparables entre eux ; aussi ai-je cru devoir grouper ensemble les expériences destinées à faire ressortir l'efficacité de chacun de ces composés sur la végétation.

Première expérience.

Le 12 mars 1863, on a mis à l'étuve les essais suivants :

N° 1.	Eau	1000	*Phosphate d'ammoniaque*	1,05
	Sucre	70	*Carbonate de potasse*	0,316
	Acide tartrique	2	*Magnésie*	0,132
	Nitrate d'ammoniaque	3,5	*Sulfate d'ammoniaque*	0,200
	Matières min. complexes	0,2		

Spores d'*Aspergillus*.

N°s 2. Comme le n° 1, moins le *phosphate d'ammoniaque*.
3. Comme le n° 1, moins le *carbonate de potasse*.
4. Comme le n° 1, moins la *magnésie*.
5. Comme le n° 1, moins le *sulfate d'ammoniaque*.

Récolte du 30 avril.

	gr
N°s 1	8,15
2	0,2
3	0,6
4	0,7
5	0,8

Rapports du poids du n° 1 aux poids :

$$\text{du n° 2...}\ \frac{8,15}{0,20} = 40,7$$

$$\text{du n° 3...}\ \frac{8,15}{0,60} = 13,6$$

$$\text{du n° 4...}\ \frac{8,15}{0,70} = 11,6$$

$$\text{du n° 5...}\ \frac{8,15}{0,80} = 10,2$$

Deuxième expérience (14 *juin* 1863).

N° 1.	Eau	4000	*Phosphate d'ammoniaque*	0,59
	Sucre	100	*Carbonate de potasse*	0,54
	Acide tartrique	2	*Magnésie*	0,11
	Nitrate d'ammoniaque	4	*Sulfate d'ammoniaque*	0,21
	Matières min. complexes.	0,20		

Spores d'*Aspergillus.*

N°s 2. Comme le n° 1, moins le *phosphate d'ammoniaque.*
3. Comme le n° 1, moins le *carbonate de potasse.*
4. Comme le n° 1, moins la *magnésie.*
5. Comme le n° 1, moins le *sulfate d'ammoniaque.*

Récolte le 3 juin.

	gr
N°s 1	5,2
2	0,1
3	0,4
4	0,3
5	0,5

Rapports du poids du n° 1 aux poids :

du n° 2... $\frac{5,2}{0,1} = 52,0$

du n° 3... $\frac{5,2}{0,4} = 13,0$

du n° 4... $\frac{5,2}{0,3} = 17,0$

du n° 5... $\frac{5,2}{0,5} = 10,4$

Troisième expérience.

N° 1.	Eau	3000	*Phosphate d'ammoniaque*	0,4
	Sucre	65	*Carbonate de potasse*	0,4
	Acide tartrique	2	*Magnésie*	0,2
	Nitrate d'ammoniaque	2,5	*Sulfate d'ammoniaque*	0,2
	Matières min. complexes.	0,2		

Spores d'*Aspergillus.*

N°s 2. Comme le n° 1, moins le *phosphate d'ammoniaque.*
3. Comme le n° 1, moins le *carbonate de potasse.*
4. Comme le n° 1, moins la *magnésie.*
5. Comme le n° 1, moins le *sulfate d'ammoniaque.*

On a mis les essais à l'étuve le 22 mars 1864.

Récoltes successives.

	31 mars. 1re récolte.	20 avril. 2e récolte.	27 avril. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1....	5,0	2,3	10,3
2....	non récolté	0,3	0,1
3....	id.	0,4	0,3
4....	id.	0,5	0,5
5....	2,6	1,0	3,7

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1....	5,0	7,3	17,6
2....	non récolté	0,3	0,4
3....	id.	0,4	0,7
4....	id.	0,5	1,0
5....	2,6	3,6	7,3

Rapports des sommes
du n° 1 aux autres sommes, savoir :

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 2}}$	»	24	44
$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 3}}$	»	18	25
$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 4}}$	»	14,6	17,6
$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 5}}$	2	2	2,4

Les expériences qui précèdent nous ont conduits à des rapports de récoltes tellement supérieurs à l'unité, qu'elles ne laissent aucun doute sur l'utilité physiologique du phosphate d'ammoniaque, du carbonate de potasse, de la magnésie, du sulfate d'ammoniaque. Mais peut-être auraient-elles pu conduire à des nombres encore plus concluants, si on les avait exécutées avec toute la perfection que comporte la méthode ; peut-être aussi les effets du *phosphate d'ammoniaque* et du *sulfate d'ammoniaque* pouvaient-ils être attribués, en partie au moins, à l'excès d'ammoniaque que ces corps ont introduit dans les liquides. C'est pour répondre

à ces objections que j'ai répété, avec plus de rigueur, les premières expériences :

Quatrième expérience.

N° 1.	Eau	1000	*Phosphate d'ammoniaque*	0,48
	Sucre	50	*Carbonate de potasse*	0,48
	Acide tartrique	2	*Carbonate de magnésie*	0,32
	Nitrate d'ammoniaque	2,9	*Sulfate d'ammoniaque*	0,20
	Carbonate de zinc	0,048		
	Citrate de fer	0,048		
	Silicate de potasse	0,048		

Spores d'*Aspergillus*.

N°s 2. Comme le n° 1, moins le *phosphate d'ammoniaque*, remplacé par une quantité équivalente de *tartrate d'ammoniaque*.
3. Comme le n° 1, moins le *carbonate de potasse*.
4. Comme le n° 1, moins le *carbonate de magnésie*.
5. Comme le n° 1, moins le *sulfate d'ammoniaque*, remplacé par une quantité équivalente de *tartrate d'ammoniaque*.

On a mis ces essais à l'étuve le 4 janvier 1869.

	1re récolte. 7 janvier.	2e récolte. 10 janvier.	Récolte totale.
	gr	gr	gr
N°s 1....	14,0	4,20	18,20
2....	»	0,10	0,10
3....	0,8	0,05	0,85
4....	»	0,20	0,20
5....	1,3	0,30	1,60

Rapports du poids de la récolte totale du n° 1 aux poids des autres récoltes; savoir :

$$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 2}} \cdot\cdot \frac{18,2}{0,10} = 182,0,$$ effet de l'*acide phosphorique*.

$$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 3}} \cdot\cdot \frac{18,2}{0,85} = 21,0,$$ effet de la *potasse*.

$$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 4}} \cdot\cdot \frac{18,2}{0,20} = 91,0,$$ effet de la *magnésie*.

$$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 5}} \cdot\cdot \frac{18,2}{1,68} = 11,4,$$ effet de l'*acide sulfurique*.

Cette dernière expérience prouve évidemment l'efficacité de l'*acide phosphorique*, de la *potasse*, de la *magnésie*, de l'*acide sulfurique* à l'état de sels, en même temps qu'elle en donne la mesure numérique.

A cause de la facilité avec laquelle les acides et les bases en

dissolution se combinent entre eux ou se séparent les uns des autres, on peut admettre comme évident que l'action de l'acide sulfurique, par exemple, sur la végétation, est indépendante de la base à laquelle il est combiné ; en sorte que tous les sulfates dont la base ne nuit pas par elle-même au développement de l'*Aspergillus*, le favoriseraient à l'égal du sulfate d'ammoniaque. Une remarque analogue s'applique à l'acide phosphorique, à la potasse, à la magnésie. Au reste, j'ai vérifié cette hypothèse en mesurant les effets physiologiques de l'acide phosphorique, de l'acide sulfurique, de la potasse, de la magnésie, engagés dans des combinaisons salines différentes, et les résultats se sont montrés conformes à mes prévisions; je me bornerai à rapporter une seule expérience de ce genre relative à l'acide sulfurique :

Cinquième expérience (17 *mai* 1864).

N° 1.	Eau	3000	Magnésie	0,2
	Sucre	65	Citrate de fer	0,1
	Acide tartrique	1,5	Carbonate de manganèse	0,1
	Nitrate d'ammoniaque	3	Carbonate de soude	0,1
	Phosphate d'ammoniaq.	0,5	Matières minérales complexes	0,1
	Carbonate de potasse	0,5	*Sulfate d'ammoniaque*	0,2

Spores d'*Aspergillus*.

N°s 2. Comme le n° 1. *Sulfate d'ammoniaque* remplacé par le *sulfate de potasse*.
3. Comme le n° 1. Pas de *sulfate*.

Récoltes successives.

	20 mai. 1re récolte.	2 mai. 2e récolte.	4 juin. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1	3,0	7,8	3,0
2	2,5	7,3	4,3
3	0,2	0,5	0,9

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1	3,0	10,8	14,3
2	2,5	9,8	14,1
3	0,2	0,7	1,6

Rapports des sommes correspondantes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{3,6}{2,5} = 1,2$	$\frac{10,8}{9,8} = 1,1$	$\frac{14,3}{14,1} = 1,01$
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 3}$	$\frac{3,0}{0,2} = 15,2$	$\frac{10,8}{0,7} = 15,4$	$\frac{14,3}{1,6} = 8,94$

A l'inspection de ces rapports numériques, on voit immédiatement que les effets produits par le *sulfate d'ammoniaque* et le *sulfate de potasse* sont presque identiques, indépendants par conséquent de la nature de la base.

Cette influence de l'acide phosphorique, de l'acide sulfurique, de la potasse, de la magnésie, sur la végétation, ne peut guère être attribuée qu'aux radicaux de ces oxydes : dès lors, si nous cherchons le rapport de l'excédant de récolte déterminé par la présence de chacun de ces radicaux dans un milieu artificiel, au poids du radical lui-même, voici ce que nous trouverons, d'après la quatrième expérience :

Poids du radical.		Excédant de récolte.	Rapport de l'excédant de récolte au poids du radical.
Phosphore.......	gr 0,115	18,2 — 0,10 = gr 18,1	$\frac{18,100}{0,115} = 157$
Potassium.......	0,271	18,2 — 0,85 = 17,35	$\frac{17,350}{0,271} = 64$
Magnésium......	0,091	18.2 — 0,20 = 18,00	$\frac{18,000}{0,091} = 200$
Soufre..........	0,048	18,2 — 1,60 = 16,60	$\frac{16,600}{0,048} = 346$

Il est, à mon avis, très-remarquable qu'un certain poids de chacun de ces corps simples puisse déterminer la formation d'un poids de matière organisé aussi considérable par rapport au premier ! Je dirai d'ailleurs, une fois pour toutes, que ces nombres, comme la plupart des nombres de ce mémoire, ne doivent pas être pris dans un sens trop absolu ; ils servent à donner des idées nettes et vraies sur les variations des éléments des phénomènes sans toutefois les mesurer rigoureusement.

En résumé, voici les résultats généraux qui me paraissent

définitivement acquis par les expériences que je viens de rapporter :

1° M. Pasteur avait constaté qu'une petite quantité de cendres minérales formées en grande partie d'*acide phosphorique*, de *potasse*, de *magnésie*, exerce une influence favorable sur le développement des Mucédinées, en présence du sucre, de l'acide tartrique et d'un élément azoté. (Voyez page 179 et page 194.)

2° J'ai démontré que cette influence est due principalement au concours simultané de l'*acide phosphorique*, de la *potasse*, de la *magnésie*, de l'*acide sulfurique;* car si l'on supprime, du milieu type indiqué à la page 201, un seul de ces oxydes, quel qu'il soit, on n'obtient plus, à la place d'une récolte abondante que fournirait le milieu complet, qu'une chétive végétation.

3° J'ai mesuré les effets de ces éléments par le rapport des poids de récoltes obtenus avec et sans le concours de chacun d'eux ; voici les valeurs extrêmes de ces rapports :

	Maxima.	Minima.
Pour l'acide phosphorique.	24,0	182,0
Pour la potasse.........	13,0	25,0
Pour la magnésie.........	11,6	91,0
Pour l'acide sulfurique....	2,0	15,4

4° Les poids de *phosphore*, de *potassium*, de *magnésium*, de *soufre*, auxquels j'attribue ces effets, sont extrêmement faibles par rapport au poids de matière organisée produite par leur intervention :

1	gramme	de phosphore peut développer.....	157	grammes de Mucédinée.
1	id.	de potassium....................	64	—
1	id.	de magnésium....................	200	—
1	id.	de soufre.......................	346	—

Il m'a paru inutile d'insister longtemps sur les résultats qui précèdent, tant ils se dégagent avec netteté des expériences. Mais à mesure que les faits deviennent plus inattendus, moins facilement saisissables, l'expérimentateur doit multiplier les preuves, devenir plus sévère dans les déductions. Aussi ai-je cru devoir concentrer tous mes efforts sur les faits que je vais exposer,

parce que par leur nature même ils paraissent devoir soulever plus d'objections.

Il existe des oxydes minéraux qui, ajoutés aux éléments dont l'utilité pour la végétation a été constatée précédemment, augmentent notablement le poids des récoltes. — Nous avons jusqu'ici constaté l'influence d'un certain nombre d'éléments sur la végétation de l'*Aspergillus*, savoir :

L'oxygène (de l'air).
L'eau.
Le sucre.
L'acide tartrique.
L'élément azoté (acide nitrique ou ammoniaque).
L'acide phosphorique.
L'acide sulfurique.
La potasse.
La magnésie.

Un milieu formé de la réunion de ces éléments peut fournir une abondante récolte d'*Aspergillus*, si l'on n'en éloigne pas avec soin les substances étrangères qui peuvent s'y mêler naturellement. Ce cas se présentera si les éléments que je viens de nommer ont été mal purifiés, si les vases qui contiennent la dissolution de ces éléments lui cèdent des traces de leur substance (telles sont, par exemple, les poteries grossières, etc., etc.). C'est précisément dans de semblables conditions que furent réalisées mes premières expériences sur la végétation de l'*Aspergillus*, par suite de circonstances qu'il est inutile de rappeler ici. Plus tard, lorsque j'éloignai des milieux artificiels les causes capables d'en altérer la pureté, je vis aussitôt le poids des récoltes s'abaisser singulièrement, et l'insuffisance des éléments qui seuls jusque-là avaient fixé mon attention commença à se révéler. Je vais préciser ces faits par un exemple :

En 1862, un milieu artificiel formé des substances que je viens d'énumérer a fourni une récolte totale s'élevant à 18^{gr},04 à l'état sec pour 80 grammes de sucre. En 1864, un milieu formé des mêmes éléments, presque dans les mêmes proportions, a produit 6 grammes de récolte totale pour 100 grammes de sucre.

Pourquoi donc le premier essai a-t-il donné une récolte trois fois plus forte que le second? C'est que, dans le premier cas, des substances étrangères s'étaient glissées parmi les éléments du milieu artificiel, cause d'erreur qui avait été évitée dans le second cas.

Ces faits parlent d'eux-mêmes : il est clair qu'il existe certaines substances qui, ajoutées au milieu artificiel employé dans la deuxième expérience, élèveront sûrement la récolte de 6 à 18 grammes, et lorsque ce résultat sera atteint, l'influence de nouveaux agents de fertilisation sera démontrée. Or, si nous parvenons à réaliser ce progrès, nous le devrons à une purification plus complète du milieu au sein duquel s'élabore la Mucédinée. On comprend dès lors toute l'importance de certaines précautions que j'ai recommandées dans l'exposé de la méthode (pages 200 et 201).

Mais avant de rechercher quels sont ces nouveaux éléments utiles à la végétation de l'*Aspergillus*, il importe de ne laisser aucun doute sur l'exactitude de cette proposition :

Outre l'oxygène, l'eau, le sucre, l'acide tartrique, la matière azotée, l'acide phosphorique, la potasse, la magnésie, l'acide sulfurique, il existe d'autres éléments qui, ajoutés au milieu formé par les premiers, augmentent notablement le poids des récoltes.

Tel est l'objet des expériences qui suivent :

Première expérience.

N° 1.	Eau	3000	Phosphate d'ammoniaque	0,5
	Sucre	80	Carbonate de potasse	0,5
	Acide tartrique	3	Carbonate de magnésie	0,3
	Nitrate d'ammoniaque	3	Sulfate d'ammoniaque	0,2

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Comme le n° 1, et en outre :

	gr
Terre cuite pulvérisée	2,0
Carbonate de manganèse	0,1
Carbonate de soude	0,1
Carbonate de chaux	0,1
Citrate de fer	0,1

N° 3. Comme le n° 2, et en outre 2 grammes de porcelaine pulvérisée.

Ces essais ont été mis à l'étuve le 10 octobre 1864.

Récoltes successives.

	14 octobre. 1re récolte.	19 octobre. 2e récolte.	23 octobre. 3e récolte.
	gr	gr	gr
Nos 1....	3,0	2,4	0,6
2....	8,7	6,3	3,1
3....	10,0	6,8	2,0

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1....	3,0	5,4	6,0
2....	8,7	15,0	18,1
3....	10,0	16,8	18,8

Rapports des récoltes correspondantes, savoir :

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 2}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{8,7}{3,0}=2,9$	$\frac{15,0}{5,4}=2,8$	$\frac{18,1}{6,0}=3,0$
$\frac{\text{N}^\circ\ 3}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{10}{3}=3,3$	$\frac{16,8}{5,4}=3,1$	$\frac{18,8}{6,0}=3,1$

Deuxième expérience 16 (*juin* 1864).

N° 1. Eau................	3000	Phosphate d'ammoniaque.......	0,5
Sucre..............	80	Carbonate de potasse..........	0,5
Acide tartrique.......	1,8	Magnésie....................	0,2
Nitrate d'ammoniaque..	3	Sulfate d'ammoniaque........	0,2

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Comme le n° 1, et en outre :

	gr
Terre cuite pulvérisée............	1,0
Porcelaine pulvérisée..............	1,0
Carbonate de soude...............	0,1
Carbonate de manganèse...........	0,1
Carbonate de chaux..............	0,1
Citrate de fer..................	0,1

N° 3. Comme le n° 2, plus cendres de bois, 0,5.

Récoltes successives.

	19 juin. 1re récolte.	22 juin. 2e récolte.	25 juin. 3e récolte.
	gr	gr	gr
Nos 1....	1,7	1,7	0,6
2....	7,8	6,7	4,5
3....	0,7	7,7	5,0

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1....	1,7	3,4	4,9
2....	7,8	14,5	19,0
3....	0,7	8,4	13,4

Rapports des récoltes, savoir :

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{7,8}{1,7} = 4,5$	$\frac{14,5}{3,4} = 4,3$	$\frac{19}{4} = 4,7$
$\frac{\text{N}^\circ\ 3}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{0,7}{1,7} = 0,41$	$\frac{8,4}{3,4} = 2,4$	$\frac{13,4}{4,0} = 3,4$

La première récolte du n° 3 (0gr,7) est évidemment anormale : or, des infusoires ayant pris naissance dans cet essai à cause de la diminution d'acidité produite par les 0gr,5 de cendres de bois (page 162), la végétation de la Mucédinée a été tout d'abord ralentie ; mais bientôt elle a repris le dessus, parce que ces infusoires ont développé des acides, et dès la deuxième récolte l'anomalie a disparu.

Troisième expérience (27 *juillet* 1866).

N° 1.	Eau...............	3000	Phosphate d'ammoniaque.......	0,5
	Sucre...............	80	Carbonate de potasse...........	0,5
	Acide tartrique.......	3,5	Magnésie....................	0,2
	Nitrate d'ammoniaque..	3	Sulfate d'ammoniaque..........	0,2

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Comme le n° 1, et en outre :

	gr.
Carbonate de manganèse...........	0,1
Carbonate de chaux...............	0,1
Sulfate de fer...................	0,1
Sulfate de zinc..................	0,1
Carbonate de soude...............	0,1
Silicate de potasse..............	0,1

Ns 3. Comme le n° 2 ; plus, terre cuite, 1 gramme ; cendres de bois, 1 gramme.

Récoltes successives.

	20 juillet. 1re récolte.	23 juillet. 2e récolte.	26 juillet. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1....	1,8	1,3	1,0
2....	7,8	6,0	4,6
3....	9,0	6,8	5,7

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1....	1,8	3,1	4,1
2....	7,8	13,8	18,4
3....	9,0	15,8	21,5

Rapports des récoltes correspondantes :

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 2.}{\text{N}^\circ\ 1.}$	$\frac{7,8}{1,8}=4,3$	$\frac{13,8}{3,1}=4,4$	$\frac{18,4}{4,1}=4,5$
$\frac{\text{N}^\circ\ 3.}{\text{N}^\circ\ 1.}$	$\frac{9,0}{1,8}=5,0$	$\frac{15,8}{3,1}=5,1$	$\frac{21,5}{4,1}=5,2$

1° Ces expériences s'accordent à démontrer que l'addition de *certaines substances* aux éléments reconnus jusqu'ici utiles à la végétation de l'*Aspergillus*, augmente le poids des récoltes suivant des rapports qui varient entre 3 : 1 et 5 : 1.

2° Ces nouvelles substances favorables à la végétation, doivent être recherchées parmi les sels minéraux, puisque les matières plus ou moins complexes dont on vient de reconnaître l'efficacité ne sont en réalité que des mélanges de sels minéraux.

3° Il paraît même certain, d'après les résultats du n° 2 de la troisième expérience, que les plus essentiels de ces sels minéraux font partie du mélange suivant :

Carbonate de manganèse,
Carbonate de chaux,
Carbonate de soude,
Sulfate de fer,
Sulfate de zinc,
Silicate de potasse.

Toutefois les matières complexes, que j'ai ajoutées dans certains essais, ont en réalité apporté avec elles de l'acide phosphorique, de la potasse, de la magnésie, de l'acide sulfurique : n'est-ce pas à cette augmentation d'éléments reconnus utiles qu'il faudrait attribuer une partie des effets observés ? Les expériences suivantes répondent à cette objection :

Quatrième expérience.

N° 1. Comme le N° 1 de la troisième expérience, et en outre :

Phosphate d'ammoniaque..	0,3	Carbonate de magnésie.........	0,3
Carbonate de potasse.....	0,3	Sulfate d'ammoniaque..........	0,2

N° 2. Comme le N° 1 de la troisième expérience, et en outre :

Terre cuite pilée........	1,0	Carbonate de chaux............	0,1
Cendres de bois........	1,0	Carbonate de soude...........	0,1
Sulfate de fer..........	0,1	Carbonate de zinc.............	0,1
Carbonate de manganèse..	0,1		

On a porté ces essais à l'étuve le 26 juin 1866.

Récoltes successives.

	29 juin. 1re récolte.	2 juillet. 2e récolte.	5 juillet. 3e récolte.	8 juillet. 4e récolte.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Nos 1...	2,1	2,1	1,7	1,3
2...	8,0	6,8	5,3	4,0

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	1re, 2e et 3e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1...	2,1	4,2	5,9	7,2
2...	8,0	14,8	20,1	24,1

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	1re, 2e et 3e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N° 2.}}{\text{N° 1.}}$	$\frac{8,0}{2,1} = 3,8$	$\frac{14,8}{4,2} = 3,5$	$\frac{20,1}{5,9} = 3,4$	$\frac{24,1}{7,2} = 3,3$

Cinquième expérience (16 *juin* 1868).

N° 1.

Eau..................	3000	Phosphate d'ammoniaque.......	0,5
Sucre.................	80	Carbonate de potasse...........	0,5
Acide tartrique.........	3	Carbonate de magnésie.........	0,3
Nitrate d'ammoniaque. .	3	Sulfate d'ammoniaque..........	0,2

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Comme le N° 1, et en outre :

Phosphate d'ammoniaq..	0,17	Carbonate de magnésie.........	0,1
Carbonate de potasse....	0,17	Sulfate d'ammoniaque..........	0,1

N° 3. Comme le N° 1, et en outre :

Terre cuite pulvérisée....	1,0	Carbonate de manganèse........	0,1
Porcelaine pulvérisée....	1,0	Carbonate de chaux............	0,1
Carbonate de soude......	0,1	Sulfate de fer................	0,1

Récoltes successives.

	19 juin. 1re récolte.	22 juin. 2e récolte.	25 juin. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1...	1,7	1,7	0,6
2...	1,8	1,7	0,8
3...	7,8	6,7	4,5

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1...	1,7	3,4	4,0
2...	1,8	3,5	4,3
3...	7,8	14,5	19,0

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 2.}{\text{N}^\circ\ 1.}$	$\frac{1,8}{1,7} = 1,1$	$\frac{3,5}{3,4} = 1,03$	$\frac{4,3}{4,0} = 1,1$
$\frac{\text{N}^\circ\ 3.}{\text{N}^\circ\ 2.}$	$\frac{7,8}{1,8} = 4,3$	$\frac{14,5}{3,5} = 4,1$	$\frac{19,0}{4,3} = 4,4$

Ainsi, d'une part, une augmentation des proportions habituelles d'acide phosphorique, de potasse, de magnésie, d'acide sulfurique, n'a pas sensiblement élevé le poids des récoltes dans le n° 2 de la cinqième expérience ; d'autre part, dans la quatrième et la cinquième expérience, ces quatre oxydes ne prédominaient plus dans les vases où l'on a ajouté de la terre cuite pulvérisée, des cendres, etc., etc.; et pourtant ces matières complexes ont été aussi efficaces que dans les trois premières expériences.

Influence de l'oxyde de zinc et de l'oxyde de fer sur le développement de l'Aspergillus. — Il existe donc des oxydes minéraux favorables à la végétation, qui ne sont ni l'acide phosphorique, ni la magnésie, ni la potasse, ni l'acide sulfurique. Quels sont ces oxydes? L'expérience va nous l'apprendre.

Première expérience (21 *juillet* 1867).

Nos 1.	Eau	3000	Phosphate d'ammoniaque	0,6
	Sucre	80	Carbonate de potasse	0,6
	Acide tartrique	3	Carbonate de magnésie	0,5
	Nitrate d'ammoniaque	3,5	Sulfate d'ammoniaque	0,3

Sulfate de zinc.. 0,1
Sulfate de fer. .. 0,1
Spores d'*Aspergillus*.

2. Comme le N° 1, moins le *sulfate de zinc*.
3. Comme le N° 1, moins le *sulfate de zinc*.

Récoltes.

	24 juillet. 1re récolte.	27 juillet. 2e récolte.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1...	9,1	6,2	15,3
2...	2,5	1,7	4,2
3...	2,9	1,0	3,9

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1.}{\text{N}^\circ\ 2.}$	$\frac{9,1}{2,5} = 3,6$	$\frac{15,3}{4,2} = 3,6$
$\frac{\text{N}^\circ\ 1.}{\text{N}^\circ\ 3.}$	$\frac{9,1}{2,9} = 3,1$	$\frac{15,3}{3,9} = 3,9$

Deuxième expérience (14 *août* 1867).

Nos 1. Mêmes substances que dans le N° 1 de l'expérience précédente, et en outre : 0gr,1 de silicate de potasse.

2. Comme le N° 1, moins le *sulfate de fer*.

Récoltes.

	17 août. 1re récolte.	20 août. 2e récolte.	23 août. 3e récolte.
	gr	gr	gr
Nos 1...	9,7	6,5	2,8
2...	5,0	3,3	1,0

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1...	9,7	16,2	19,0
2...	5,0	8,3	9,3

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1.}{\text{N}^\circ\ 2.}$	$\frac{9,7}{5,0} = 1,8$	$\frac{16,2}{8,3} = 2,0$	$\frac{19,0}{9,3} = 2,0$

Troisième expérience (23 *juin* 1867).

Nos 1. Identique avec le N° 1 des expériences précédentes.
2. Comme le N° 1, moins le *sulfate de zinc*.
3. Comme le N° 1, moins le *sulfate de fer*.

Récoltes successives.

	26 juin. 1re récolte.	29 juin. 2e récolte.	2 juillet. 3e récolte.	5 juillet. 4e récolte.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Nos 1....	9,0	6,2	3,7	2,0
2....	2,6	1,7	1,5	1,0
3....	3,5	3,8	4,0	1,2

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	1re, 2e et 3e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1....	9,0	15,2	18,9	20,9
2....	2,6	4,3	5,8	6,8
3....	3,5	7,3	11,3	12,5

Rapports des sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	1re, 2e et 3e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1.}{\text{N}^\circ\ 2.}$	$\frac{9,0}{2,6} = 3,5$	$\frac{15,2}{4,3} = 3,5$	$\frac{18,9}{5,8} = 3,3$	$\frac{20,9}{6,8} = 3,1$
$\frac{\text{N}^\circ\ 1.}{\text{N}^\circ\ 3.}$	$\frac{9,0}{3,5} = 2,6$	$\frac{15,2}{7,3} = 2,1$	$\frac{18,9}{11,3} = 1,7$	$\frac{20,9}{12,5} = 1,7$

Dans ces trois expériences, les effets du sulfate de zinc sur le poids des récoltes sont mesurés par des rapports compris entre 3,1 et 3,9; et les effets du sulfate de fer par des nombres compris entre 1,7 et 2,6; l'efficacité de ces deux sels est donc incontestable; mais peut-être est-il utile de vérifier qu'elle n'appartient pas à l'*acide sulfurique* que ces sels apportent dans les essais où ils sont introduits :

Quatrième expérience (3 *octobre* 1868).

N° 1.	Eau...............	1000	Carbonate de potasse..........	0,48
	Sucre...............	50	Carbonate de magnésie........	0,32
	Acide tartrique.......	2	Sulfate d'ammoniaque.........	0,20
	Nitrate d'ammoniaque..	2,9	Silicate de potasse............	0,06
	Phosphate d'ammoniaq.	0,48		
	Sulfate de zinc.........	0,06		
	Sulfate de fer.........	0,06		

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Comme le N° 1 ; le *sulfate de zinc* est remplacé par $0^{gr},06$ de *sulfate d'ammoniaque*.

N° 3. Comme le N° 1 ; le *sulfate de fer* est remplacé par $0^{gr},06$ de *sulfate d'ammoniaque*.

Récoltes.

	1re récolte. 6 octobre.	2e récolte. 9 octobre.	Récolte totale.
Nos 1....	15,6	2,8	18,4
2....	5,2	0,8	6,0
3....	11,0	0,7	11,7

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N° 1.}}{\text{N° 2.}}$	$\frac{15,6}{5,2} = 3,0$	$\frac{18,4}{6,0} = 3,1$
$\frac{\text{N° 1.}}{\text{N° 3.}}$	$\frac{15,6}{11,0} = 1,4$	$\frac{18,4}{11,7} = 1,6$

Cinquième expérience (31 *octobre* 1868).

N° 1.	Eau...............	1500	Carbonate de magnésie........	0,40
	Sucre...............	70	Sulfate d'ammoniaque.........	0,25
	Acide tartrique......	4	Sulfate de zinc...............	0,07
	Nitrate d'ammoniaque.	4,04	Silicate de potasse............	0,7
	Phosphate d'ammon..	0,60	*Sulfate de fer*...............	0,07
	Carbonate de potasse..	0,60		

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Comme le N° 1 ; pas de *sulfate de fer*.

N° 3. Comme le N° 1 ; le *sulfate de fer* remplacé par $0^{gr},07$ de *sulfate d'ammoniaque*.

Récoltes.

	3 novembre. 1re récolte.	6 novembre. 2e récolte.	Récolte totale.
Nos 1....	14,4	10,0	24,4
2....	8,2	4,2	12,4
3....	7,2	7,4	14,6

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N° 1.}}{\text{N° 3.}}$	$\frac{14,4}{7,2} = 2,00$	$\frac{24,4}{14,6} = 1,7$
$\frac{\text{N° 3.}}{\text{N° 2.}}$	$\frac{7,2}{8,2} = 0,88$	$\frac{14,6}{12,4} = 1,2$

Les essais qui contiennent du *sulfate de fer* et du *sulfate de zinc* ont encore donné de plus fortes récoltes que les essais privés de fer ou de zinc et contenant la même quantité d'acide sulfurique que les premiers; d'ailleurs, le mélange artificiel du n° 3 de la cinquième expérience qui contient plus d'acide sulfurique que celui du n° 2 n'a pas été notablement plus fertile. C'est donc à l'*oxyde de zinc* et à l'*oxyde de fer*, et non à l'*acide sulfurique*, que les *sulfates de zinc et de fer* doivent leur efficacité.

J'ai répété les expériences qui précèdent avec des sels de fer et de zinc à acides différents, afin de confirmer encore ces résultats : j'ai cherché à établir sans conteste que tous ces sels agissent sur la végétation à l'égal des sulfates, quel que soit leur acide :

Sixième expérience (3 *août* 1867).

Nos 1.	Eau.................	3000	Carbonate de potasse............	0,6
	Sucre................	80	Carbonate de magnésie.........	0,4
	Acide tartrique.......	3	Sulfate d'ammoniaque..........	0,2
	Nitrate d'ammoniaque..	3,5	Silicate de potasse.............	0,1
	Phosphate d'ammoniaq.	0,6		

Sulfate de zinc..... 0,1.
Spores d'*Aspergillus*.

2. Comme le N° 1, + *Sesquioxyde de fer*.......................... 0,1
(une portion du sesquioxyde de fer est restée sans se dissoudre)
3. Comme le N° 1, + *Lactate de fer*.............................. 0,1
4. Comme le N° 1, + *Citrate de fer*.............................. 0,1
5. Comme le N° 1, + *Sulfate de fer*.............................. 0,1

Récoltes successives.

	6 août. 1re récolte.	9 août. 2e récolte.	12 août. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1....	4,2	2,4	1,1
2....	9,2	5,2	2,0
3....	10,5	6,7	3,2
4....	9,2	6,8	4,0
5....	9,7	6,0	3,2

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale
Nos 1....	4,2	6,6	7,7
2....	9,2	14,4	16,4
3....	10,5	17,2	20,4
4....	9,2	16,0	20,0
5....	9,7	15,7	18,9

Rapports des sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 2}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{9,2}{4,2} = 2,2$	$\frac{14,4}{6,6} = 2,2$	$\frac{16,4}{7,7} = 2,1$
$\frac{\text{N}^\circ\ 3}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{10,5}{4,2} = 2,5$	$\frac{17,2}{6,6} = 2,6$	$\frac{20,4}{7,7} = 2,7$
$\frac{\text{N}^\circ\ 4}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{9,2}{4,2} = 2,2$	$\frac{16,0}{6,6} = 2,4$	$\frac{20,0}{7,7} = 2,6$
$\frac{\text{N}^\circ\ 5}{\text{N}^\circ\ 1}$	$\frac{9,7}{4,2} = 2,3$	$\frac{15,7}{6,6} = 2,4$	$\frac{18,9}{7,7} = 2,5$

Septième expérience (4 *août* 1866).

N° 1.	Eau..............	3000	Sucre....	80
	Acide tartrique.....	3	Nitrate d'ammoniaque......	3,5
	Phosphate d'amm...	0,6	Carbonate de potasse.......	0,6
	Carbonate de magn..	0,5	Sulfate d'ammoniaque......	0,3
	Silicate de potasse...	0,1	Sulfate de fer............	0,1

Spores d'*Aspergillus*.

Nos 2. Comme le n° 1, + *sulfate de zinc*. 0,1
3. Comme le n° 1, + *nitrate de zinc*. 0,1
4. Comme le n° 1, + *lactate de zinc*. 0,1

Récoltes successives.

	7 août. 1re récolte.	10 août. 2e récolte.	13 août. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1...	2,1	2,7	2,5
2....	8,5	8,4	3,7
3....	4,0	7,5	6
4....	7,8	8	3,5

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1....	2,1	4,8	7,3
2....	8,5	16,9	20,6
3....	4	11,5	17,5
4....	7,8	15,8	19,3

Rapports des sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{N^o\ 2}{N^o\ 1}$	$\frac{8,5}{2,1} = 4$	$\frac{16,9}{4,8} = 3,5$	$\frac{20,6}{7,3} = 2,8$
$\frac{N^o\ 3}{N^o\ 1}$	$\frac{4}{2,1} = 2$	$\frac{11,5}{4,8} = 2,4$	$\frac{17,5}{7,3} = 2,4$
$\frac{N^o\ 4}{N^o\ 1}$	$\frac{7,8}{2,1} = 3,7$	$\frac{15,8}{4,8} = 3,3$	$\frac{19,3}{7,3} = 2,6$

Huitième expérience (28 *décembre* 1866).

N° 1. Eau	3000	Sucre	80
Acide tartrique	3	Nitrate d'ammoniaque	3,5
Phosphate d'ammoniaque	0,6	Carbonate de potasse	0,6
Carbonate de magnésie	0,5	Sulfate d'ammoniaque	0,3
Silicate de potasse	0,1		

Spores *d'Aspergillus*

N° 2. Comme le n° 1, + nitrate de zinc 0,1. Citrate de fer 0,1.
N° 3. Comme le n° 1, + sulfate de fer 0,1 *Acétate de zinc* 0,1.
N° 4. Comme le n° 1, + sulfate de fer 0,1. *Pas d'acétate de zinc.*
N° 5. Comme le n° 1, + nitrate de fer 0,1. *Sulfate de zinc* 0,1.
N° 6. Comme le n° 1, + nitrate de fer 0,1. *Pas de sulfate de zinc.*
N° 7. Comme le n° 1, + acétate de zinc 0,1. *Citrate de fer* 0,1.
N° 8. Comme le n° 1, + acétate de zinc 0,1. *Pas de citrate de fer.*

Récoltes successives.

	31 décembre. 1re récolte.	3 janvier. 2e récolte.	6 janvier. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1....	1,9	1,5	1,5
2....	6,5	10,5	4
3....	7,2	10	3,3
4....	2,6	3,2	1,8
5....	6,4	10,5	3,7
6....	2	1,7	2,5
7....	6,8	9,3	4,5
8....	4,3	5,5	0,5

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1....	1,9	3,4	4,9
2....	6,5	17	21
3....	7,2	17,2	20,5
4....	2,6	5,8	7,6
5....	6,4	16,9	20,6
6....	2	3,7	6,2
7....	6,8	16,1	20,6
8....	4,3	9,8	10,3

Rapports des sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{N^o\ 2}{N^o\ 1}$	$\frac{6,5}{1,9}=3,4$	$\frac{17}{3,4}=5$	$\frac{21}{4,9}=4,3$
$\frac{N^o\ 3}{N^o\ 4}$	$\frac{7,2}{2,6}=2,8$	$\frac{17,2}{5,8}=3$	$\frac{20,5}{7,6}=2,7$
$\frac{N^o\ 5}{N^o\ 6}$	$\frac{6,4}{2}=3,2$	$\frac{16,9}{3,7}=4,6$	$\frac{20,6}{6,2}=3,3$
$\frac{N^o\ 7}{N^o\ 8}$	$\frac{6,8}{4,3}=1.6$	$\frac{16,1}{9,8}=1,6$	$\frac{20,6}{10,3}=2$

Remarquons en passant les nombres des nos 1 et 2 de la huitième expérience : ils indiquent que la suppression simultanée du sel de zinc et du sel de fer d'un milieu artificiel complet, diminue les récoltes dans une proportion plus considérable que la suppression de l'un ou de l'autre de ces sels, résultat parfaitement d'accord avec l'ensemble des faits.

Mais ce qu'il faut principalement remarquer, c'est que divers sels de zinc et de fer, c'est-à-dire le sulfate, le nitrate, le lactate, l'acétate de zinc d'une part; et de l'autre le sulfate, le citrate, le nitrate, le lactate, l'oxyde de fer ont présenté dans leurs effets sur la végétation l'accord le plus satisfaisant : les rapports des récoltes avec et sans sel de zinc ont oscillé entre 2 : 1 et 4,6 : 1 ; les rapports qui représentent les effets des sels de fer sont compris entre 1,4 et 2,7.

Aussi je n'insisterais pas davantage sur cet ordre de faits, si je ne croyais utile de démontrer (et c'est là un point que les expériences qui précèdent n'ont pas éclairci) que le fer et le zinc ne peuvent se remplacer l'un l'autre dans l'acte de la végétation, contrairement à ce que la similitude de ces deux métaux pourrait faire présumer.

Neuvième expérience (3 *août* 1867).

			gr.
N° 1.	Eau, 3000 ; sucre, 80 ; acide tartrique, 3 ; nitrate d'ammoniaque, 3,5 ; phosphate d'ammoniaque, 0,6 ; carbonate de potasse, 0,6 ; carbonate de magnésie, 0,4 ; sulfate d'ammoniaque, 0,2 ; silicate de potasse, 0,1 .... Spores d'*Aspergillus*.	Sulfate de zinc......... Sulfate de fer.........	0,1 0,1
N° 2.	Idem............................	Sulfate de zinc........	0,2
N° 3.	Idem............................	Sulfate de fer.........	0,2

Récoltes successives.

	6 août. 1re récolte.	9 août. 2e récolte.	12 août. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1......	9,7	6,0	3,2
2......	5,3	2,3	4,0
3......	4,8	3,3	1,7

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1.....	9,7	15,7	18,9
2.....	5,3	7,6	11,6
3.....	4,8	8,1	9,8

Rapports des sommes correspondantes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^o\ 1}{\text{N}^o\ 2}$	$\frac{9,7}{5,3} = 1,8$	$\frac{15,7}{7,6} = 2,1$	$\frac{18,9}{11,6} = 1,6$
$\frac{\text{N}^o\ 1}{\text{N}^o\ 3}$	$\frac{9,7}{4,8} = 2,0$	$\frac{15,7}{8,1} = 1,9$	$\frac{18,9}{9,8} = 1,9$

Dixième expérience (28 *décembre* 1866).

N° 1.	Eau, 3000; sucre, 80; acide tartrique, 3; nitrate d'ammoniaque, 3,5; phosphate d'ammoniaque, 0,6; carbonate de potasse, 0,6; carbonate de magnésie, 0,4; sulfate d'ammoniaque, 0,2; silicate de potasse, 0,1.. Spores d'*Aspergillus*.	Nitrate de zinc....... Citrate de fer.........	0,1 0,1
N° 2.	Idem.............................	Nitrate de zinc........	0,2
N° 3.	Idem.............................	Nitrate de zinc........	0,1
N° 4.	Idem.............................	Citrate de fer.........	0,2
N° 5.	Idem.............................	Citrate de fer.........	0,1

Récoltes successives.

	31 décembre. 1re récolte.	3 janvier. 2e récolte.	6 janvier. 3e récolte.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1............	6,5	10,5	4,0
2............	4,5	6,2	1,0
3............	3,2	3,4	2,3
4............	2,1	3,2	2,2
5............	1,9	2,2	2,2

Sommes des récoltes.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1	6,5	17,0	21,0
2	4,5	10,7	11,7
3	3,2	6,6	8,9
4	2,1	5,3	7,5
5	1,9	4,1	6,3

Rapports des sommes des récoltes :

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{6,5}{4,5} = 1,4$	$\frac{17,0}{10,7} = 1,6$	$\frac{21,0}{11,7} = 1,9$
$\frac{\text{N}^\circ\ 2}{\text{N}^\circ\ 3}$	$\frac{4,5}{3,2} = 1,4$	$\frac{10,7}{6,6} = 1,6$	$\frac{11,7}{8,9} = 1,3$
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 4}$	$\frac{6,5}{2,1} = 3,1$	$\frac{17,0}{5,3} = 3,2$	$\frac{21,0}{7,5} = 2,8$
$\frac{\text{N}^\circ\ 4}{\text{N}^\circ\ 5}$	$\frac{2,1}{1,9} = 1,1$	$\frac{5,3}{4,1} = 1,3$	$\frac{7,5}{6,3} = 1,2$

Résumons ces deux expériences :

Dans le milieu artificiel complet, qui contient *un sel de fer* et *un sel de zinc*, on a remplacé le sel de fer par un poids égal de sel de zinc et réciproquement : on a vu alors le poids des récoltes s'abaisser notablement (9e expérience), et presque au même degré que si l'on avait simplement supprimé l'un des deux sels (10e expérience). La seule conclusion légitime est que le fer et le zinc ont chacun dans la végétation de l'*Aspergillus* leur part d'influence propre; qu'à chacun d'eux est dévolu un rôle spécial.

Mais si le fer et le zinc ne peuvent se substituer l'un à l'autre, dans leur action sur l'*Aspergillus,* d'autres métaux ne pourraient-ils les remplacer? L'expérience seule peut répondre à cette question : il y a quelques années (voyez page 182), j'ai essayé l'action des sels de manganèse sur le développement de l'*Aspergillus;* ces sels ont produit des effets analogues à ceux des sels de fer et de zinc, mais moins constants, moins appréciables. Faut-il en conclure que les sels de manganèse ont agi par les traces de fer ou de zinc qu'ils pouvaient contenir, ou bien que le manganèse remplace le fer (ou même le zinc) physiologiquement, comme il

le remplace souvent dans les réactions chimiques? Je ne me prononcerai point à cet égard.

Il est intéressant de connaître le rapport qui existe entre le poids de fer ou le poids de zinc ajouté dans un milieu artificiel, et l'augmentation de récolte qui résulte de cette addition. En appliquant le calcul aux nombres de la quatrième expérience (page 246), je trouve que : 1 gramme de zinc suffirait à augmenter la récolte de 953 grammes ; et la cinquième expérience (page 246) conduit à ce résultat, que 1 gramme de fer fournirait un excédant de 857 grammes.

L'intervention de certains éléments chimiques *en proportions extrêmement petites*, pour former des poids de matière organisée relativement considérables, voilà assurément un fait bien remarquable dont nous avons déjà rencontré des exemples moins frappants, à propos de l'étude de l'azote, de l'acide phosphorique, de la potasse, de la magnésie, de l'acide sulfurique. J'irai plus loin : on ne saurait affirmer actuellement que le nombre 953, ni même un autre nombre, quelque grand qu'on l'imagine, représente la limite supérieure du rapport du poids du végétal au poids d'un élément chimique qui concourt à le former.

Cette influence de *quantités de matières indéfiniment petites* sur la végétation, explique pourquoi j'ai attaché une sérieuse importance au degré de pureté du milieu artificiel dans lequel se développe l'*Aspergillus* (voyez page 201).

Elle nous explique également pourquoi cette Mucédinée acquiert un certain développement dans un milieu où l'on a supprimé l'élément azoté, ou l'acide phosphorique, ou le fer, ou le zinc, etc. : ce n'est pas que ces éléments soient pour le végétal des *excitants* utiles dont il peut à la rigueur se passer; tous au contraire sont indispensables, même le zinc, même le fer; mais ceux qu'on a cru supprimer existent, en même temps que les autres, parmi les impuretés du milieu ; telle est, du moins à mon avis, l'interprétation la plus naturelle des faits.

Les résultats qui précèdent sur l'action des sels de zinc et de

fer sur la végétation de l'*Aspergillus* sont entièrement nouveaux; je vais les formuler par quelques propositions générales :

1° Il suffit de supprimer du *milieu type* indiqué page 224, l'*oxyde de zinc* ou l'*oxyde de fer*, pour voir le poids des récoltes s'abaisser sensiblement;

2° L'action de ces oxydes sur la végétation se manifeste également quel que soit l'acide auxquel ils sont combinés;

3° Ils ne peuvent se substituer l'un à l'autre;

4° Les rapports des récoltes obtenues avec et sans ces oxydes ont varié dans mes expériences entre les limites suivantes : Pour l'*oxyde de zinc :* rapport minimum 2; rapport maximum 4,6. Pour l'*oxyde de fer*: rapport minimum 1,4; rapport maximum 2,7.

2° Le rapport d'un certain poids de matière organisée au poids de zinc ou de fer qui a contribué à le former, a atteint, au maximum, les nombres suivants :

Pour le zinc............	953.
Pour le fer.............	857.

Influence favorable d'autres éléments minéraux sur le développement de l'Aspergillus. — Les substances que nous avons examinées jusqu'ici sont certainement utiles, probablement nécessaires, à la végétation de l'*Aspergillus*. Sont-elles suffisantes? Ou bien d'autres éléments ajoutés aux premiers ne pourraient-ils pas accroître encore le poids des récoltes? Telle est la question qui trouve naturellement ici sa place :

Première expérience (12 *novembre* 1865).

N° 1	Eau..............	3000	Carbonate de potasse.........	0,5
	Sucre.............	80	Carbonate de magnésie.......	0,4
	Acide tartrique......	2	Sulfate d'amm..............	0,2
	Nitrate d'ammoniaq...	3	Citrate de fer..............	0,1
	Phosphate d'amm....	0,5	Sulfate de zinc..............	0,1

Spores d'Aspergillus.

N° 2. Comme le n° 1, + { cendres de bois, 2. acide tartrique, 4.

N° 3. Comme le n° 1, + { terre cuite pulvérisée, 2. cendres de bois, 1 acide tartrique, 2

Récoltes successives.

	15 nov. 1re récolte.	18 nov. 2e récolte.	21 novembre. 3e récolte.	24 novembre. 4e récolte.	28 novembre. 5e récolte.
Nos 1..	5,5	5,8	3,5	1,6	1,2
2..	6,8	7,5	5,0	2,9	1,5
3..	4,9	8,6	5,8	3,8	2,7

Sommes des récoltes.

	1re réc.	1re et 2e réc.	1re 2e 3e récoltes.	1re 2e 3e 4e récoltes.	Récolte totale.
Nos 1..	5,5	11,3	14,8	16,4	17,6
2..	6,8	14,3	19,3	22,2	23,7
3..	4,9	13,5	19,3	23,1	25,8

Rapports des sommes des récoltes.

	1re récolte.	Les 2 premières récoltes.	Les 3 premières récoltes.	Les 4 premières récoltes.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\text{o}\ 2}{\text{N}^\text{o}\ 1}$	»	$\frac{14,3}{11,3}=1,3$	$\frac{19,3}{14,8}=1,3$	$\frac{22,2}{16,4}=1,4$	$\frac{23,7}{17,6}=1,3$
$\frac{\text{N}^\text{o}\ 3}{\text{N}^\text{o}\ 1}$	»	$\frac{13,5}{11,3}=1,2$	$\frac{19,3}{14,8}=1,3$	$\frac{23,1}{16,4}=1,4$	$\frac{25,8}{17,6}=1,4$

Deuxième expérience (6 *novembre* 1865).

Nos 1. Comme le n° 1 de la première expérience.

2. Comme le n° 1, + terre cuite pulvérisée, 2 gr.

3. Comme le n° 1, + { terre cuite, 1 gramme. cendres de bois, 1 gramme. acide tartrique, 1 gramme.

4. Comme le n° 1, + { terre cuite, 1 gr. cendres, 0,5 acide tartrique, 1 gr.

5. Comme le n° 1, + { terre végétale........... 2 gr. acide tartrique.......... 2

Récoltes successives.

	9 novembre. 1re récolte.	12 novembre. 2e récolte.	15 novembre. 3e récolte.	18 novembre. 4e récolte.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Nos 1..	9,2	3,6	2,4	1,0
2..	8,9	6,1	4,2	2,5
3..	9,5	6,7	4,3	2,8
4..	9,8	6,5	4,7	2,5
5..	8,3	5,7	3,8	2,5

Récolte totale.	Rapports des récoltes totales.
Nos 1..... 16,2	$\frac{\text{N}^\circ 2}{\text{N}^\circ 1} \cdots \frac{21,7}{16,2} = 1,4$
2..... 21,7	$\frac{\text{N}^\circ 3}{\text{N}^\circ 1} \cdots \frac{23,3}{16,2} = 1,4$
3. ... 23,3	$\frac{\text{N}^\circ 4}{\text{N}^\circ 1} \cdots \frac{23,5}{16,2} = 1,5$
4..... 23,5	$\frac{\text{N}^\circ 5}{\text{N}^\circ 1} \cdots \frac{20,3}{16,2} = 1,3$
5... . 20,3	

Les récoltes ont donc été un peu plus fortes dans tous les essais avec addition de *matières minérales complexes* (terre cuite, cendres, terre végétale), que dans les autres essais, et les rapports des récoltes, avec et sans matières additionnelles, ont varié entre 1,2 et 1,5. Mais cet excédant de récoltes ne peut-il pas être attribué à l'action des substances précédemment étudiées (acide phosphorique, potasse, etc.), que renferment naturellement ces matières minérales complexes? Une expérience va lever cette objection :

Troisième expérience (26 *juin* 1865).

N° 1. Comme le n° 1 de la première expérience.

+				
	Phosphate d'ammoniaque......	0,3	Sulfate de zinc...............	0,05
	Carbonate de potasse..........	0,3	Sulfate de fer................	0,05
	Sulfate d'ammoniaque.........	0,1	Acide tartrique...............	2,00
	Carbonate de magnésie........	0,2		

N° 2. Comme le n° 1 de la première expérience.

+		
	Terre cuite pulvérisée..................................	1 gr.
	Cendres de bois.......................................	1
	Acide tartrique, 2 grammes..............................	2

Récoltes successives.

	29 juin. 1re récolte.	2 juillet. 2e récolte.	5 juillet. 3e récolte.	8 juillet. 4e récolte.
	gr.	gr.	gr.	gr.
N° 1........	6	4,8	3,1	2,3
N° 2........	8	6,8	5,3	4

Récolte totale.	Rapports des récoltes totales.
N° 1.... 16,2	$\frac{\text{N}^\circ 2}{\text{N}^\circ 1} \cdots \frac{24,1}{16,2} = 1,5$
N° 2.... 24.1	

Le n° 2 ne contient pas les éléments déjà étudiés, acide

phosphorique, potasse, etc., en plus grande proportion que le n° 1 : l'excédant de récolte du n° 2 sur le n° 1 ne peut donc être attribué qu'à l'influence de nouveaux éléments minéraux.

Mais cette influence ressort-elle évidemment des nombres obtenus? Les excès de récoltes correspondant aux essais qui ont reçu les matières supplémentaires ne sont-ils pas assez faibles pour rentrer dans les limites d'erreurs du procédé? Je ne le pense pas : car j'ai établi, dans l'exposé de la méthode (page 197), que des essais types convenablement préparés, et placés dans les mêmes circonstances, fournissent des récoltes dont les rapports sont compris entre 1 et 1,05. Or, les rapports observés dans les trois dernières expériences sortent de ces limites, puisqu'ils sont compris entre les nombres 1,2 et 1,5. Ces nombres révèlent donc un effet certain de la part des *substances additionnelles*, seule circonstance par laquelle différaient entre eux les essais des expériences que je viens de rapporter.

Influence de la silice sur le développement de l'Aspergillus. — Nous sommes naturellement conduits à rechercher à quels oxydes minéraux se rapportent les effets observés :

Première expérience (4 *mai* 1868).

		gr.
N° 1. Eau, 500; sucre, 26,6; acide tartrique, 1,6; nitrate d'ammoniaque, 1,15; phosphate d'ammoniaque, 0,2; carbonate de potasse, 0,2; carbonate de magnésie, 0,2; sulfate d'ammoniaque, 0,053; sulfate de zinc, 0,033; sulfate de fer, 0,033. Spores d'*Aspergillus*.	Silicate de potasse.....	0,033
N° 2. Idem........................	Carbonate de potasse...	0,033

Récoltes.

	7 mai. 1re récolte.	10 mai. 2e récolte.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1............	4,9	2,5	7,4
2............	4,0	2,1	6,1

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{4,9}{4,0} = 1,2$	$\frac{7,4}{6,1} = 1,2$

Deuxième expérience (20 *juin* 1868).

N° 1. Eau, 1000; sucre, 53; acide tartrique, 3,2; nitrate d'ammoniaque, 2,3; phosphate d'ammoniaque, 0,4; carbonate de potasse, 0,4; carbonate de magnésie, 0,3; sulfate d'ammoniaque, 0,15; sulfate de zinc, 0,066; sulfate de fer, 0,066. Silicate de potasse..... gr. 0,066

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2. Idem .... Carbonate de potasse. gr. 0,066

Récolte.

	23 juin.	Rapport des deux récoltes.
	gr.	
Nos 1.............	14,1	$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2} \cdot\cdot \frac{14,1}{10,2} = 1,4$
2.............	10,2	

Troisième expérience (30 *juin* 1868).

		gr.
Nos 1. Eau, 1000; sucre, 53; azote et matières minérales............	*Silicate de potasse*...	0,066
2. Idem........................	*Silicate de potasse*...	0,066
3. Idem. Le silicate est remplacé par :	*Carbonate de potasse*.	0,066

Récoltes.

	3 juillet. 1re récolte.	6 juillet. 2e récolte.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1.....	14,2	5,3	19,5
2. ...	15,0	5,5	20,5
3.....	12,0	3,7	15,7

Rapports des récoltes.

	1re récolte.	Récolte totale.
$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 3}$.....	$\frac{14,2}{12,0} = 1,2$	$\frac{19,5}{15,7} = 1,24$
$\frac{\text{N}^\circ\ 2}{\text{N}^\circ\ 3}$.....	$\frac{15,0}{12,0} = 1,2$	$\frac{20,5}{15,7} = 1,3$

La *silice* du *silicate* de potasse a donc produit des effets me-

surés par des rapports supérieurs à 1,2. Pour vérifier ces résultats, et pour m'assurer que l'efficacité du silicate est indépendante de la base à laquelle la silice est combinée, j'ai remplacé le sel de potasse par le sel de soude, et j'ai obtenu des résultats presque identiques, comme on peut en juger par l'expérience suivante :

Quatrième expérience (31 *octobre* 1868).

			gr.
Nos 1.	Eau, 1500 ; sucre, 70 ; acide tartrique ; azote et matières minérales, en proportions convenables.	Silicate de potasse..........	0,07
2.	Idem....................	Carbonate de potasse.......	0,07
3.	Idem....................	Silicate de soude..........	0,07
4.	Idem....................	Carbonate de soude.......	0,07

Récolte totale en six jours.	gr.	Rapports des récoltes.	
Nos 1......	24,0	$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2}$	$\frac{24,0}{20,0} = 1,2$
2......	20,0		
3......	24,0	$\frac{\text{N}^\circ\ 3}{\text{N}^\circ\ 4}$	$\frac{24,0}{19,5} = 1,23$
4......	19,5		

Tous les rapports qui mesurent les effets de la silice sur la végétation sont voisins de l'unité, mais néanmoins supérieurs à 1,2 ; ils sont donc concluants au même titre que les nombres des expériences des pages 254, 255 et 256 ; la remarque de la page 257 s'applique ici sans restriction.

La troisième expérience nous a donné un excédant de récolte de $4^{gr},8$ pour une addition de silicate de potasse de $0^{gr},066$ contenant $0^{gr},015$ de silicium : le rapport de l'excédant de récolte au silicium est $\frac{4,8}{0,015} = 320$. Ce rapport est considérable ; à cet égard, il se rapproche des nombres correspondants relatifs au potassium, au phosphore, etc., etc.

1° En résumé, la silice est utile à la végétation de l'*Aspergillus*, car si on la supprime du milieu type, la récolte diminue sensiblement.

2° Le rapport des récoltes avec et sans silice a varié entre les nombres 1,2 et 1,4.

3° Le rapport de l'excédant de récolte obtenu par addition de silice au silicium de cet oxyde est considérable ; il s'est élevé jusqu'au nombre 320.

Nous pouvons à présent poser la loi générale relative à l'intervention des substances du *milieu type* dans l'organisation de la matière :

L'*Aspergillus* se développe avec vigueur dans un milieu formé de la réunion, en proportions convenables, de 12 substances chimiques de composition définie ; le concours simultané de toutes ces substances est essentiel, car il suffit d'en supprimer une seule à la fois pour voir la récolte s'abaisser dans un rapport différent de l'unité et variable d'une substance à l'autre ; les quantités de chaque corps simple qui interviennent pour former un même poids de végétal varient selon la nature du corps simple, depuis des nombres de même ordre de grandeur que le poids du végétal jusqu'à des fractions de ce poids extrêmement petites.

Existe-t-il des éléments autres que ceux qui constituent le milieu type, capables de rendre plus vigoureuse la végétation de l'Aspergillus? — Demandons-nous maintenant si le milieu formé de la réunion de ces douze éléments, *supposés purs*, est la réalisation la plus parfaite d'un sol fertile. En d'autres termes, n'existe-t-il pas encore d'autres éléments capables d'augmenter le poids des récoltes, soit qu'on les ajoute aux premiers, soit qu'on les substitue à eux? Dans cette hypothèse, à quel genre de progrès serait subordonnée la découverte de ces nouvelles substances ? Telles sont les questions auxquelles je vais essayer de répondre par induction.

Les essais types, dans les meilleures conditions, ont fourni, pour 80 grammes de matières nutritives, environ 25 grammes de plante à l'état sec. Or, si en modifiant le milieu artificiel, nous parvenions à accroître notablement ce poids de 25 grammes, ce simple fait nous révélerait l'efficacité de nouveaux éléments.

1° Pour atteindre ce but, nous pourrions suivre la voie que nous nous sommes déjà tracée : ajouter au milieu type des matières minérales complexes, telles que cendres, terre cuite pul-

vérisée, etc., et chercher si cette modification augmente le poids des récoltes. Or, nous avons vu ces matières complexes, introduites dans un milieu artificiel, accroître le poids des récoltes suivant des rapports compris entre 1,2 et 1,5 (page 257) ; le silicate de potasse ajouté dans le même milieu a fourni des rapports compris entre 1,2 et 1,4. Les effets numériques ont donc été sensiblement les mêmes de part et d'autre ; les cendres, la terre cuite, etc., n'ont probablement agi que par leur silice, et ne fourniraient plus dans le milieu complet que des accroissements de récoltes insignifiants.

2° Des substances convenablement choisies ne se montreraient-elles pas plus efficaces que les cendres et les autres matières minérales complexes essayées jusqu'ici ? La quatrième expérience de la page 258 va nous éclairer sur ce point.

Le n° 1, après avoir donné 24 grammes de récolte, contenait encore 5 grammes de sucre ; or, en admettant que les 70 grammes de sucre et même les 4 grammes d'acide tartrique de cet essai disparaissent au profit de la plante, on arrive par le calcul à une récolte maximum de 27^{gr},3 qui ne saurait être dépassée dans la pratique. Le rapport du poids théorique au poids obtenu est donc $\frac{27,3}{24} = 1,1$. Ce rapport représente la limite des effets que l'on pourrait atteindre par l'addition de substances quelconques au milieu type : de ce côté, un progrès sérieux est donc encore irréalisable.

3° Ne peut-on pas espérer atteindre à des rendements plus élevés, en substituant aux composés du *milieu artificiel* indiqué précédemment, d'autres composés mieux appropriés aux besoins de l'*Aspergillus ?* A cet égard, les substances chimiques qui se rapprochent le plus des combinaisons d'origine organique ne présentent-elles pas des chances de succès ? L'expérience ne s'est pas montrée favorable à cette vue, car l'*Aspergillus* s'est moins bien développé dans des milieux naturels que dans notre milieu artificiel.

Expérience (20 *octobre* 1868).

N°s 1. ... Milieu artificiel de la page 201 (80 grammes de matières solides pour 1500 d'eau)

2.... Eau de levûre de bière avec acide tartrique (80 grammes de matières solides pour 1500 d'eau).

3..... Urine avec acide tartrique (80 grammes de matières solides pour 1500 d'eau).

4..... Infusion de *noix de galle* avec acide tartrique (80 grammes de matières solides pour 1500 d'eau).

Récoltes.

	23 octobre. 1re récolte.	26 octobre. 2e récolte.	Récolte totale.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1.....	17,1	8,2	25,3
2.....	7	8	15
3.....	6	0,8	6,8
4.....	1,4	0,4	1,8

Rapports des récoltes totales.

$$\frac{\text{N}^{\text{o}}\ 1}{\text{N}^{\text{o}}\ 2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{25,3}{15} = 1,7$$

$$\frac{\text{N}^{\text{o}}\ 1}{\text{N}^{\text{o}}\ 3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{25,3}{6,8} = 3,7$$

$$\frac{\text{N}^{\text{o}}\ 1}{\text{N}^{\text{o}}\ 4} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \frac{25,3}{1,8} = 1\ 4$$

On sera sans doute surpris de voir un mélange artificiel formé des combinaisons qui s'écartent le plus par leur formule des composés organiques, se montrer plus apte à l'assimilation que des liquides naturels extraits de la substance même des êtres organisés. Ce résultat, fort remarquable d'ailleurs, n'est pourtant pas en contradiction avec les faits connus : car admettre que les composés les plus semblables par leur forme à la substance des végétaux sont les plus assimilables, c'est une hypothèse gratuite qui ne repose sur aucune loi expérimentale. D'autre part, on comprend qu'un milieu artificiel dont chaque élément a été convenablement choisi, soit mieux approprié aux besoins d'un végétal qu'un milieu naturel formé d'éléments rassemblés au hasard.

4° Si nous avons atteint à peu près le poids maximum de récolte que peut fournir dans un temps donné un certain poids de matières, est-ce à dire que les éléments chimiques dont l'efficacité

a été reconnue jusqu'ici forment la liste complète des éléments essentiels à l'*Aspergillus?* Je ne le pense pas; car les substances dont se compose le milieu type ne sont pas d'une pureté absolue. Or, admettons qu'un élément essentiel à la végétation se trouve parmi les impuretés du milieu en proportion extrêmement petite; il résulte des considérations exposées à la page 253, que cette proportion, si minime qu'elle soit, suffit peut-être à la formation de 25 grammes de plante : dès lors l'influence de cet élément a dû nécessairement nous échapper. Mais si l'on purifiait davantage le milieu type, l'élément que je considère venant à manquer, la récolte pourrait s'abaisser au-dessous de 25 grammes. Si un pareil résultat se produisait, il nous mettrait sur la trace de nouveaux éléments essentiels à l'*Aspergillus*. C'est par suite d'un perfectionnement de ce genre que l'influence du fer et du zinc s'est manifestée.

En résumé, le poids de récolte que nous obtenons dans les essais types est peu inférieur au poids maximum qu'il est possible d'atteindre; et le milieu artificiel de ces essais est mieux approprié au développement de l'*Aspergillus* que les milieux naturels.

Outre les éléments dont nous avons constaté l'efficacité sur la végétation de cette Mucédinée, *peut-être* en existe-t-il encore d'autres non moins essentiels; mais la découverte de ces éléments est subordonnée à la possibilité de purifier le milieu qui a servi jusqu'ici aux expériences.

Discussion générale des résultats précédents. — L'intérêt qui s'attache à la connaissance exacte du *milieu artificiel* approprié à la végétation, m'engage à revenir encore sur les expériences précédentes, afin d'en préciser le sens, et d'en déduire la marche générale à suivre pour étudier à fond l'influence d'un élément essentiel à la végétation :

1° Les *oxydes* du milieu type ont été ordinairement employés sous la forme de *sels*. Pour constater l'utilité d'*un sel* pour le développement de l'*Aspergillus*, il suffit de faire végéter cette Mucédinée dans deux milieux : l'un contient le sel en question avec

tous les autres éléments essentiels, dans l'autre le sel seul est supprimé; on prend ensuite le rapport du poids de la première récolte au poids de la seconde,

Si ce rapport est > 1 ; s'il surpasse l'unité d'une quantité supérieure à l'*erreur relative* du procédé ; enfin, si ce résultat a été obtenu un certain nombre de fois, on est simplement en droit de conclure que : *le sel dont il s'agit, ajouté à un milieu convenablement choisi, a la propriété d'accroître dans un certain rapport le poids des récoltes.*

Si l'on se reporte aux expériences faites en vue de démontrer l'action du sulfate de zinc sur l'*Aspergillus*, par exemple (page 245), on reconnaîtra que j'ai appliqué rigoureusement ce principe.

2° Il importe de savoir si l'effet produit par le sel est dû à l'acide ou à la base.

Pour trancher cette question, - ou, en d'autres termes, pour établir que l'effet d'un oxyde (acide ou alcalin) *sur le développement du végétal est un effet propre, indépendant de la nature de la base ou de l'acide combiné avec lui*, il faut essayer tour à tour l'action des différents sels de cet oxyde : tous doivent donner des résultats numériques comparables à ceux qu'a fournis le sel primitif.

C'est dans ce but qu'après avoir constaté l'efficacité du sulfate de zinc sur les progrès de la végétation, j'ai répété les premières expériences d'une part avec un autre sulfate, et de l'autre avec d'autres sels de zinc : azotate, lactate, etc. (pages 246 et suiv.).

3° Lorsqu'on a acquis la certitude qu'un *oxyde* est efficace sur la végétation, indépendamment des substances auxquelles il est combiné, il est intéressant de le remplacer par d'autres *oxydes analogues*, afin de décider : *si les effets observés sont communs à une classe de composés semblables par leur formule, ou bien s'ils sont la propriété exclusive des composés d'un seul radical.*

Par exemple, l'oxyde de fer, chimiquement analogue à l'oxyde de zinc, n'a pu le remplacer dans son action physiologique; j'ai dû en conclure que, probablement, l'efficacité des sels de zinc

dans les phénomènes de la vie appartient en propre aux seuls composés de ce métal.

4° Admettons que l'oxyde d'un radical se soit montré efficace à l'exclusion de tous les autres oxydes qu'on lui a substitués, il importe encore de le remplacer par d'autres composés du même radical, afin de déterminer : *quels sont, parmi tous les composés d'un même corps simple, ceux qui sont aptes à l'assimilation*, *et ceux qui ne le sont pas.*

Ainsi j'ai constaté que l'ammoniaque et l'acide azotique fournissent à l'*Aspergillus* l'azote nécessaire à sa constitution, tandis que l'acide nitreux, le cyanogène, paraissent dépourvus de cette propriété.

5° Par cet ensemble de recherches on parvient à établir que certains composés d'un même corps simple, ajoutés à un milieu convenablement choisi, augmentent le poids des récoltes du végétal, à l'exclusion de tous les autres composés de la chimie : dès lors il est manifeste que ce *corps simple* joue dans la formation de ce végétal un rôle important ; mais quel est ce rôle ? c'est là un sujet très-délicat qui exige des recherches spéciales pour chaque élément simple du *milieu type artificiel.*

Cette suite d'expériences a encore un autre but : j'ai posé en principe que certains éléments chimiques interviennent *nécessairement* dans la formation d'un végétal en proportions extrêmement minimes; or l'accroissement de récoltes que nous attribuons à l'action d'un certain sel, peut fort bien résulter de l'action d'un autre élément qui fait partie des impuretés de ce sel. Par exemple, des traces d'alumine mêlées au *sulfate de zinc* n'expliqueraient-elles pas les effets de ce sel? Cette objection perd de sa force à mesure que l'on vérifie par des essais plus nombreux les résultats obtenus avec un sel particulier. Si différents composés d'un même radical fournissent des résultats concordants, on n'a plus guère à redouter l'influence d'un corps étranger, dont les proportions et par suite les effets devraient varier beaucoup d'un composé à un autre. Si, de plus, les composés des autres corps simples, substitués à celui dont on

étudie l'influence, demeurent inactifs, l'efficacité propre de ce corps simple devient incontestable.

On m'objectera sans doute, et avec raison, que je n'ai pas suivi à la lettre le plan que je viens de tracer, pour chacun des éléments du *milieu artificiel*. Je répondrai que je ne prétends pas avoir épuisé toutes les questions relatives à l'étude physiologique de ce milieu ; que d'ailleurs toutes les expériences que j'ai énumérées ne sont pas nécessaires au même degré pour les divers éléments essentiels à la végétation : en général, les vérifications qui se rapportent à l'influence d'un élément doivent être d'autant plus nombreuses, que cet élément intervient en proportion plus faible pour produire un même effet, qu'il manifeste son influence moins nettement, qu'enfin il donne des résultats plus inattendus.

C'est ainsi que quelques expériences suffisaient pour établir l'utilité de l'élément phosphoré dans la végétation de l'*Aspergillus*, tandis que le fait de l'intervention des sels de zinc dans les phénomènes de la vie devait s'appuyer sur de nombreuses vérifications. Si les résultats très-nets auxquels je suis parvenu sur les sels de zinc ne peuvent guère s'expliquer par la présence de substances étrangères mêlées à ces sels, il reste des doutes sérieux à cet égard relativement à la silice dont les effets ont été faibles. Aussi je ne regarde pas comme définitives les expériences que j'ai faites jusqu'ici sur l'influence de la silice, bien que les effets des silicates dont je me suis servi soient incontestables.

Expériences de vérification. — Le procédé employé pour l'étude du *milieu artificiel* propre à la végétation de l'*Aspergillus*, peut recevoir une modification très-simple qui permet aux résultats de se présenter sous une forme plus saisissante :

On met à l'étuve deux essais identiques contenant chacun le milieu complet, moins un seul élément ; lorsqu'on a obtenu deux ou trois récoltes dans chacun d'eux, alors on ajoute dans l'un des deux essais seulement l'élément qui manque, et l'on continue à

récolter. Nous pouvons prévoir facilement les résultats des expériences ainsi disposées :

1° Les récoltes correspondantes des deux essais seront d'abord à peu près égales et faibles. Mais, à partir du moment où l'un des deux essais recevra l'élément complémentaire, les récoltes de ce dernier, s'élevant tout à coup, deviendront très-supérieures, et aux récoltes précédentes du même milieu, et aux récoltes de même ordre du milieu qui est resté incomplet. De cette double comparaison, de ce changement subit dans la valeur des nombres, résultera jusqu'à l'évidence l'efficacité de l'élément complémentaire.

2° Dans les expériences qui précèdent, on ajoutait dès l'origine de la végétation la substance complémentaire dans l'un des vases, et le rapport $\frac{P}{P'}$ des récoltes totales avec et sans cet élément, en mesurait l'efficacité. Ici au contraire l'addition de cette substance n'a lieu qu'après avoir enlevé dans chaque vase un certain poids de Mucédinée p. Le rapport $\frac{P-p}{P'-p}$ des récoltes obtenues à partir de ce moment, mesurera l'effet de cette substance. Or si $\frac{P}{P'}$ est > 1, on voit facilement que $\frac{P-p}{P'-p}$ est $> \frac{P}{P'}$, c'est-à-dire : *que la modification du procédé que je propose aura pour résultat d'accroître les rapports qui servent de mesure aux effets des éléments du milieu artificiel.*

Je vais recourir à l'expérience pour voir si elle confirmera ces prévisions :

Expérience sur l'influence du sulfate d'ammoniaque (17 *mai* 1863).

N° 1.	Eau	3000	Sucre	65
	Acide tartrique	1,5	Nitrate d'ammoniaque	3
	Phosphate d'ammoniaque	0,5	Carbonate de potasse	0,5
	Carbonate de magnésie	0,2	Sels complexes	0,5

Spores d'*Aspergillus*.

Pas de sulfates.

N° 2. Identique au n° 1.

	N° 1.	N° 2.
	gr.	gr.
20 mai, 1re récolte	0,2	0,3
26 mai, 2e récolte	0,5	0,6
4 juin, 3e récolte	0,9	0,5
4 juin, le n° 1 reçoit 0gr,2 de *sulfate d'ammoniaque.*		
13 juin, 4e récolte	12,0	0,5

Rapport des deux dernières récoltes :

$$\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2} \cdots\cdots \frac{12,0}{0,5} = 24.$$

L'efficacité de l'acide sulfurique ressort avec évidence du rapprochement de ces nombres, et le rapport 24 qui la mesure est très-supérieur au rapport maximum 15,4 obtenu par le procédé primitif (page 236).

Expérience sur l'insuffisance du phosphore, du potassium, du magnésium et du soufre comme éléments minéraux (16 *juin* 1863).

N° 1	Eau	3000	Sucre	80
	Nitrate d'amm	3	Acide tartrique	2
	Phosphate d'amm	0,5	Carbonate de potasse	0,5
	Carb. de magnésie	0,3	Sulfate d'ammoniaque	0,2
N° 2	Identique au n° 1.			

	N° 1	N° 2
	gr.	gr.
19 juin, 1re récolte	1,7	1,8
22 juin, 2e récolte	1,7	1,7
25 juin, 3e récolte	0,6	0,8

25 juin : on ajoute dans le n° 1 :

	gr.
Terre cuite	1
Porcelaine pilée	1
Carbonate de soude	0,1
— de manganèse	0,1
— de chaux	0,1
Citrate de fer	0,1

	N° 1	N° 2
28 juin, 4e récolte	8,4	0,8

Rapport des deux dernières récoltes : $\frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2} \cdots\cdots \frac{8,4}{0,8} = 10,5$

L'utilité des substances ajoutées le 25 juin s'est donc mani-

festée par un rapport égal à 10,5, alors que dans les expériences primitives (page 241), elle était mesurée au maximum par le nombre 5.

Expérience sur le sulfate de zinc (23 *juin* 1867).

		gr.		gr.
N° 1.....	Eau.............	3000	Sucre.......................	80
	Acide tartrique....	3	Nitrate d'ammoniaque..........	3,5
	Phosphate d'amm..	0,5	Carbonate de potasse..........	0,5
	Carb. de magnésie...	0,3	Sulfate d'ammoniaque..........	0,2
	Sulfate de fer.....	0,1	Silicate de potasse.............	0,1

Spores.

N° 2..... Comme le n° 1.

	N° 1.	N° 2.
	gr.	gr.
26 juin, 1re récolte................	2,6	2,7
29 juin, 2e récolte.................	1,7	2
2 juillet, 3e récolte...............	1,5	1,3
5 juillet, 4e récolte...............	1,0	1,3
5 juillet, *addition de* 0gr,1 *de sulfate de zinc dans le n°* 1		
10 juillet, 5e récolte..............	1,0	1,0

Rapport des deux dernières récoltes.

$$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 2}} \dots\dots\dots \frac{10}{1} = 10$$

Autre expérience sur les sels de zinc (21 *juillet* 1867).

N° 1. Comme le n° 1 de l'expérience précédente.

N° 2. Idem.

N° 3. Idem.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.
	gr.	gr.	gr.
24 juillet, 1re récolte........................	2,5	2,9	3,0
27 juillet, 2e récolte..........................	1,7	1,0	1,6
Le 27 juillet, on ajoute :			
Dans le n° 1 : 0,1 de chlorure de zinc,			
Dans le n° 2 : 0,1 d'oxyde de zinc.			
30 juillet, 3e récolte.........................	8,2	7,7	1,1

Rapports des récoltes du 30 juillet.

$$\frac{\text{N° 1}}{\text{N° 3}} \dots\dots \frac{8,2}{1,1} = 7,5 \qquad \frac{\text{N° 2}}{\text{N° 3}} \dots\dots \frac{7,7}{1,1} = 7$$

Ces deux dernières expériences confirment encore nos prévi-

sions : elles ne laissent aucun doute sur les bons effets des sels de zinc ; elles conduisent à des rapports dont le plus petit représenté par 7 : 1 est supérieur au rapport maximum 4,6 : 1 des expériences des pages 244 et suivantes.

Appliquons encore le procédé modifié à l'action des sels de fer : il serait intéressant de pouvoir amplifier les effets de ces sels par cela même qu'ils ont été assez faibles.

Première expérience (23 *juin* 1867).

N° 1....	Eau	3000	Sucre	80
	Acide tartrique	3	Nitrate d'amm.	3,5
	Phosphate d'amm.	0,5	Carbonate de potasse	0,5
	Carbonate de magnésie	0,3	Sulfate d'amm.	,2
	Sulfate de zinc	0,1	Silicate de potasse	0,1

Spores *d'Aspergillus.*

Pas de sel de fer.

N° 2..... Comme le n° 1.

	N° 1.	N° 2.
26 juin. 1re récolte	3,5	2,5
29 juin. 2e récolte	3,8	4,2
2 juillet. 3e récolte	4	3
5 juillet. 4e récolte	1,2	1,5
5 juillet. *Addition de* 0gr,1 *de sesquioxyde de fer dans le n°* 1.		
10 juillet. 5e récolte	trop faible pour être récolté.	0,5

$$\text{Rapport des deux dernières récoltes : } \frac{\text{N}^\circ\ 1}{\text{N}^\circ\ 2} \text{ plus petit que l'unité.}$$

Deuxième expérience (3 *août* 1867).

N° 1..... Identique au n° 1 de la première expérience. Pas de sel de fer.
2..... Idem.
3..... Idem.
4..... Idem.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
	gr.	gr.	gr.	gr
6 août, première récolte	3,5	2 7	5,3	6,3
9 août, deuxième récolte	3,1	2,5	2,3	1,7

9 août, on ajoute :
0gr,1 de lactate de fer dans le n° 1.
0gr,1 de sulfate de fer dans le n° 2.
0gr,1 de chlorure de fer dans le n° 3.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.
12 août, 3e récolte :	2,2	poids inappréciable	4	poids inappr.

Rapports des récoltes du 12 août.

$\frac{\text{N}^\text{o}\ 1}{\text{N}^\text{o}\ 4}$... Supérieur à l'unité.

$\frac{\text{N}^\text{o}\ 3}{\text{N}^\text{o}\ 4}$... Idem.

$\frac{\text{N}^\text{o}\ 2}{\text{N}^\text{o}\ 4}$... Ne surpasse pas l'unité

Troisième expérience (14 *août* 1867).

N° 1..... Identique au n° 1 de la première expérience. Pas de sel de fer
2..... Idem.
3..... Idem.

	N° 1	N° 2	N° 3
17 août, 1re récolte	5	4,1	4,2
17 août : *on ajoute* 0gr,1 *de sulfate de fer dans le n°* 1.			
20 août, 2e récolte	5	3,4	3,2
20 août : *on ajoute* 0gr,1 *de sulfate de fer dans le n°* 2.			
20 août, 3e récolte	3,7	2,2	2,0

Rapports des récoltes obtenues après addition du sel de fer.

$$\frac{\text{N}^\text{o}\ 1}{\text{N}^\text{o}\ 3} \ldots\ldots\ldots \frac{5 + 3{,}7}{3{,}2 + 2} = \frac{8{,}7}{5{,}2} = 1{,}7$$

$$\frac{\text{N}^\text{o}\ 2}{\text{N}^\text{o}\ 4} \ldots\ldots\ldots \frac{2{,}2}{2} = 1{,}1$$

L'application du procédé modifié aux sels de fer a trompé nos prévisions :

Le poids des récoltes devait s'élever subitement après l'addition du sel de fer ; il n'en a rien été.

Les poids de récoltes des essais qui ont reçu le sel de fer devaient être, après cette addition, supérieurs aux poids de même ordre fournis par les milieux incomplets ; il n'en a pas toujours été ainsi.

Le rapport des poids des récoltes avec et sans sel de fer devait être plus grand que les nombres obtenus par le procédé ordinaire ; or presque toujours il a été moindre (voir page 250).

A cette différence entre les résultats relatifs au soufre, au zinc, etc., et les résultats singuliers qui se rapportent aux sels

de fer, correspond *certainement* une différence bien tranchée dans le rôle physiologique de ces corps simples.

Il serait prématuré de vouloir préciser le rôle tout spécial du fer dans le développement de l'*Aspergillus*; cependant nous pouvons tirer des résultats qui précèdent quelques inductions :

En ajoutant un sel de fer dans un milieu après plusieurs récoltes, j'ai complété ce milieu, et pourtant la végétation, après comme avant cette addition, est restée languissante. Si donc ce milieu est devenu impropre à une végétation vigoureuse, ce n'est pas qu'un élément essentiel y manque, c'est que par le fait même du développement de l'*Aspergillus* en l'absence des sels de fer, il a dû se former une substance vénéneuse pour la Mucédinée, substance que les sels de fer empêchent de se produire, mais ne peuvent détruire.

Cette interprétation des faits est d'accord avec ce que j'ai observé sur les fructifications de l'*Aspergillus* : en l'absence des sels de fer, elles se forment de plus en plus péniblement à mesure que le milieu d'où elles naissent a déjà produit un plus grand nombre de récoltes ; cette particularité ne s'observe pas dans un milieu où manque un élément essentiel autre que le fer.

D'ailleurs, on ne saurait douter de la formation d'un composé spécial par l'influence de la végétation *en l'absence des sels de fer*. Que l'on verse dans un liquide artificiel privé de fer, qui a déjà fourni deux ou trois récoltes d'*Aspergillus*, quelques gouttes d'un sel de sesquioxyde de fer, aussitôt une coloration rouge apparaît, d'autant plus intense que le nombre des récoltes est plus grand ; dans les liquides où l'*Aspergillus* a végété en présence d'un sel de fer, cette coloration ne se manifeste pas, par le sel de sesquioxyde. La substance qui provoque cette coloration est destructible par le chlore, le permanganate de potasse, etc. Peut-être ce composé serait-il l'acide sulfocyanhydrique ; mais cette hypothèse aurait besoin d'être examinée de plus près.

Quoi qu'il en soit, si l'on expose à l'air pendant plusieurs jours un liquide dans lequel la force végétative s'est affaiblie et qui contient cette substance, celle-ci disparaît, et le liquide redevient apte à la végétation.

Ces faits me portent à croire que le rôle des sels de fer dans l'acte du développement de l'*Aspergillus* consiste à empêcher la formation d'une substance vénéneuse qui, en leur absence, se développerait par l'influence de la végétation.

Influence des quantités des éléments du milieu artificiel sur le poids des récoltes. — Jusqu'ici je me suis attaché à fixer le sens général de la relation qui lie la présence d'un élément chimique dans un milieu artificiel au développement de l'*Aspergillus* dans ce milieu, sans rechercher la formule numérique de cette relation ; les nombres que j'ai cités avaient plutôt pour but de donner une idée nette de la grandeur des phénomènes, que de les mesurer avec précision.

Cependant, puisque les essais types, dans des circonstances bien déterminées, donnent des récoltes constantes à 1/20e près de leur valeur, on peut espérer déterminer avec assez de précision *les relations numériques qui lient les variations de poids de chaque élément du milieu type, aux variations des récoltes produites par ce milieu.* Je vais donner ici les résultats de quelques expériences sur ce sujet à peine ébauché.

Non-seulement les proportions suivant lesquelles les divers éléments d'un milieu artificiel sont associés influent sur le poids des récoltes de l'*Aspergillus*, mais encore l'espèce de Mucédinée qui se développe peut varier avec les proportions des éléments du milieu :

Expérience du 19 *août* 1868.

		gr.		gr.
N° 1.....	Eau...........	1000	Sucre..................	50
	Acide tartrique...	2	Nitrate d'ammoniaque......	2,9
	Posphate d'amm..	0,48	Carbonate de potasse.........	0,48
	Carb. de magnésie.	0,32	Sulfate d'ammoniaque......	0,18
	Sulfate de zinc....	0,048	Sulfate de fer.............	0,048
	Silicate de potasse..	0,048		

Spores d'*Aspergillus*.

N° 2..... Même quantité de sucre que dans le n° 1 ; la moitié seulement de la matière azotée et des matières minérales.

Spores d'*Aspergillus*.

J'ai fait trois récoltes successives dans chaque vase, puis j'ai recommencé identiquement les deux essais, en ayant soin tou-

tefois de ressemer toujours dans chaque essai les spores de la récolte précédente du même milieu. Après plusieurs opérations de ce genre, l'*Aspergillus* continuait à végéter absolument pur dans le n° 1 ; dans l'essai n° 2 il était complétement remplacé par le *Penicillium glaucum* qui avait peu à peu envahi la surface du liquide.

Ces deux champignons recherchent donc des milieux analogues, bien que chacun d'eux exige des conditions chimiques un peu différentes: résultat en harmonie avec les faits que M. Van Tieghem a observés sur le développement de ces deux Mucédinées dans des dissolutions de tannin.

Puisque les proportions des éléments du milieu ont assez d'influence pour provoquer l'apparition de telle ou telle espèce de Mucédinée, il importe, dans les recherches sur l'*Aspergillus*, de ne pas s'écarter notablement des proportions que j'ai indiquées page 201, si l'on veut cultiver sûrement cette plante à l'état pur.

Si l'on classe les éléments du milieu type, d'après l'ordre de leurs quantités respectives, l'*eau* se place en première ligne ; aussi je vais rechercher comment varie le poids des récoltes obtenues dans un milieu lorsqu'on fait varier le poids de l'eau, celui des autres éléments restant constant.

Expérience du 16 *juillet* 1867.

Nos 1.	Sucre, acide tartrique, nitrate d'ammoniaque, matières minérales suivant les proportions ordinaires, 20 gr. Spores d'*Aspergillus*.	Eau,	0gr.
2.	Idem	Eau,	8
3.	Idem	—	15
4.	Idem	—	40
5.	Idem	—	80
6.	Idem	—	120
7.	Idem	—	160
8.	Idem	—	240
9.	Idem	—	320
10.	Idem	—	480
11.	Idem	—	640
12.	Idem	—	960
13.	Idem	—	1920
14.	Idem	—	3840
15.	Idem	—	7680

Tous ces essais étaient placés dans des vases d'égale profondeur.

Récolte du 19 juillet.

Nos 1	0
2	0
3	traces
4	0,6
5	1,54
6	2,56
7	2,6
8	3,0
9	3,04
10	2,8
11	3,6
12	3,18
13	3,2
14	3,2
15	3,1

La loi qui résume ce tableau est fort simple :

Le poids de la récolte augmente d'abord avec la quantité d'eau jusqu'à 240 grammes d'eau pour 20 grammes du mélange des éléments artificiels; à partir de cette quantité, il reste sensiblement constant.

Expérience du 29 *juillet* 1867.

Nos 1. Sucre et autres éléments en proportions convenables, 20 grammes. Spores.............. Eau, 700
2. Idem.................................. — 350

Sommes des récoltes successives.

	1er août. 1re récolte.	4 août. 1re et 2e récoltes.	7 août. Récolte totale.
	—	—	—
N° 1	3,6	5,2	5,7
N° 2	3,2	4,8	5,5

Cette expérience confirme la première ; car les proportions d'eau sont ici supérieures à 240 grammes pour 20 grammes d'éléments nutritifs, et les récoltes des nos 1 et 2 sont sensiblement égales. Elle démontre, en outre, que cette égalité de poids s'applique non-seulement à la première récolte, mais aussi

aux sommes des récoltes successives de chaque essai, en particulier à la récolte totale.

Le développement des fructifications varie aussi avec les proportions d'eau ; dans des essais identiques aux n°s 1, 2, 3, 4, 5, de l'expérience du 16 juillet, la surface de la Mucédinée est restée blanche même après six à sept jours de végétation ; dans des essais semblables aux n°s 6 et 7, les spores se sont formées, mais avec beaucoup de lenteur. Enfin, dans le n° 8 et les essais suivants, les fructifications se sont formées avec régularité ; la surface de l'*Aspergillus*, de blanche est devenue brune, puis d'un noir uniforme après trois jours de végétation ; cependant les progrès des organes reproducteurs ont encore été un peu plus rapides à mesure que la proportion d'eau devenait plus forte.

En résumé, une trop faible proportion d'eau nuit au développement du mycélium et des spores ; à partir d'une quantité d'eau minima égale à 240 grammes pour 20 grammes d'éléments nutritifs, la Mucédinée se développe régulièrement, et le poids de récolte devient à peu près constant dans des vases d'égale profondeur, quelle que soit la quantité d'eau du milieu, pourvu que les autres éléments restent invariables.

Remarquons que 20 grammes d'éléments nutritifs ont donné au total 5,7 de Mucédinée qui exigent en outre, pour se développer normalement, 240 grammes d'eau au minimum. Le rapport du poids de l'eau utile à la végétation au poids de récolte qui se forme par son influence est donc au moins égal à $\frac{240}{5,7} = \frac{42}{1}$.

Dans le choix des proportions des éléments du *milieu type*, j'ai cherché à satisfaire, autant que possible, à cette condition : obtenir un poids déterminé de récolte avec le moindre poids des substances de ce milieu. Il suffirait donc d'employer 240 grammes d'eau pour 20 grammes des autres éléments du mélange artificiel, ou encore 1500 grammes d'eau pour 125 grammes de ces éléments ; mais pour tenir compte de l'évaporation de l'eau dans le cours de la végétation, j'ai employé généralement 80 grammes de matières solides pour 1500 centimètres cubes de dissolution (voir page 211).

Passons maintenant à la recherche de l'influence *des quantités de sucre* sur le poids de la récolte, tous les autres éléments restant invariables.

Première expérience (24 *décembre* 1867).

N° 1. Eau, 2750; nitrate d'ammoniaque, 3,5; acide tartrique, 3; phosphate d'ammoniaque, 0,6; carbonate de potasse, 0,6; carbonate de magnésie, 0,5; sulfate d'ammoniaque, 0,3; citrate de fer, 0,1; sulfate de zinc, 0,1; Spores. Sucre, 0

N°s 2.	Idem	Sucre,	10
3.	Idem	—	20
4.	Idem	—	40
5.	Idem	—	60
6.	Idem	—	80
7.	Idem	—	120
8.	Idem	—	160
9.	Idem	—	320
10.	Idem	—	640
11.	Idem	—	2260
12.	Idem	—	7400

Sommes des récoltes successives.

	28 décembre. 1re récolte.	2 janvier. 1re et 2e récoltes.	6 janvier. Récolte totale.
N°s 1	0,27	0,27	0,27
2	2,7	3,28	3,46
3	3,9	5,45	7,27
4	6,7	9,32	13,02
5	9,15	12,78	16,94
6	10,2	14,27	19,94
7	13,8	19,24	23,18
8	15,4	19,96	24,47
9	23,1	24,1	28,2
10	22,8	24,7	28,4
11	22,2	23,37	24,67
12	4,4	5,38	7,18

Sommes des récoltes diminuées de la récolte du n° 1, et rapportées aux récoltes correspondantes du n° 2 prises pour unité.

	1re récolte.	1re et 2e récoltes.	Récolte totale.	Poids du sucre.
N° 2......	1	1	1	10
3......	1,5	1,7	2,2	20
4......	2,6	3	4	40
5......	3,7	4,2	5,2	60
6......	4	4,7	6,2	80
7......	5,6	6,3	7,2	120
8......	6,2	6,6	7,6	160
9......	9,5	8	8,8	320
10......	9,3	8,2	8,8	640
11......	9,2	7,8	7,7	2260
12......	1,8	1,8	2,2	7400

La loi des effets produits par la variation de poids du sucre se dessine assez nettement dans ce dernier tableau :

1° La récolte totale — diminuée du poids de Mucédinée de l'essai privé de sucre — est d'abord à peu près proportionnelle au poids du sucre jusqu'au n° 4, c'est-à-dire jusqu'à la proportion de 15 grammes de sucre pour 1 litre d'eau ; elle croît plus lentement jusqu'au n° 9, qui contient 119 grammes de sucre par litre, puis elle diminue indéfiniment.

2° Les récoltes successives suivent une loi analogue, avec cette différence que, même dans les essais qui renferment très-peu de sucre, la récolte croît moins vite que le sucre.

3° L'accroissement de récolte totale produit par l'addition de 10 grammes de sucre aux autres éléments du milieu artificiel est $3^{gr},2$. Le rapport minimum du poids du sucre au poids de matière organisée qu'il contribue à former est donc exprimé par $\frac{10}{3,2}=3,1$.

Autre expérience.

Le 3 mai 1868, j'ai préparé huit essais respectivement semblables aux huit premiers essais de la première expérience ; et

j'ai obtenu de chacun d'eux trois récoltes successives; je ne donne ici que les nombres de la récolte totale.

	Récolte totale.	Rapports des récoltes diminuées de celle du n° 1 à la récolte du n° 2.
	gr.	gr.
Nos 1	0,2	»
2	3,1	1
3	7,1	2,7
4	12,3	4,1
5	14,8	5
6	17,7	5,9
7	21,3	7,2
8	23,0	7,9

Ces nombres sont, dans leur ensemble, d'accord avec les nombres correspondants de la première expérience.

J'ai fait encore quelques recherches sur les effets physiologiques de diverses quantités d'acide tartrique; l'expérience suivante résume les principaux résultats :

Expérience sur les quantités d'acide tartrique (7 *août* 1867).

N° 1. Eau, 700 gr.; sucre, 20 gr.; nitrate d'ammoniaque; matières minérales en proportions convenables. Acide tartrique, 0,0

Spores d'*Aspergillus.*

			gr.
Nos 2.	Idem.	Acide tartrique	0,7
3.	—	—	1,4
4.	—	—	2,8
5.	—	—	5,6
6.	—	—	8
7.	—	—	11
8.	—	—	22
9.	—	—	44
10.	—	—	88
11.	—	—	176

Récoltes.

	10 août. 1re récolte.	13 août. 2e récolte.	Récolte totale.	Poids d'acide tartrique.
Nos 1	(Pas de Mucédinée : infusoires).			0,0
2	3,6	1,7	5,3	0,7
3	3,6	1,7	5,3	1,4
4	3,6	1,6	5,2	2,8
5	3,4	1,5	4,9	5,6
6	3,3	1,4	4,7	8
7	3,3	1,7	5	11
8	3	2,3	5,3	22
9	2,9	2,2	5,1	44
10	2,6	très-faible	2,6	88
11	0,4	inappréciable	0,4	176

Ces nombres prouvent :

1° Qu'il y a une proportion minima d'acide tartrique indispensable pour éviter l'apparition des infusoires ;

2° Qu'à partir de cette quantité minima (1 gramme pour 1000 d'eau environ), jusqu'à la proportion de 63 grammes par litre, le poids des récoltes est à peu près constant (du moins dans les conditions de cette expérience) ;

3° Qu'au delà de cette limite, le poids des récoltes diminue, et devient à peu près nul pour une proportion d'acide égale à 250 grammes par litre.

Ce qu'il faut remarquer ici en particulier, c'est la facilité avec laquelle l'*Aspergillus* supporte sans en souffrir des proportions considérables d'acide tartrique.

Ajoutons encore que cet acide se comporte d'une manière analogue envers les fructifications : dans les essais nos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, le développement des spores a suivi une marche régulière ; dans le n° 9, il y a eu un retard sensible ; enfin les nos 10 et 11 n'ont pas donné traces de fructifications.

Résultats analytiques. — J'ai dit au commencement de ce travail que dans une étude chimique suivie sur la végétation dans les milieux artificiels, l'analyse doit venir corroborer les résultats de la synthèse : aussi je vais indiquer ici quelques nombres auxquels j'ai été conduit par voie analytique :

En dosant le sucre de plusieurs essais par la liqueur de Fehling, j'ai obtenu une relation assez constante entre le sucre disparu et le poids de plante formée :

Sucre disparu. $C^{12}H^{11}O^{11}$.	Poids de plante formé.	Rapport du sucre à la plante.
gr.	gr.	
37,3	17,8	2,1
39	19,5	2
40	18	2,2
42	18	2,3
50	21	2,4
111	44,8	2,5
57	27,1	2,1
51	22	2,3
16	6,7	2,4

Rapport moyen du poids du sucre au poids de la récolte 2,3 : 1.

Je dois faire remarquer que ces nombres ont été obtenus dans des circonstances à peu près invariables, celles qui ont été déterminées dans l'exposé général de la Méthode, en sorte que je ne prétends point dès à présent qu'ils s'appliquent rigoureusement à tous les cas.

J'ai porté aussi mon attention sur les proportions de matières minérales que le végétal absorbe : j'ai incinéré au fourneau de coupellation des récoltes d'*Aspergillus* obtenues dans des conditions différentes, afin de connaître le poids des cendres contenues dans 100 grammes de ces diverses récoltes ; voici les résultats auxquels je suis parvenu :

Première expérience (3 *juillet* 1866).

Dans cette expérience, la Mucédinée a été simplement pressée à la main, séchée à 100° et ensuite incinérée.

N° 1. Eau, 3000 ; sucre 80
nitrate d'ammoniaque, 3 + { Matières minérales suivant les proportions ordinaires du milieu type. } 8gr,2
acide tartrique, 8,5.
Spores d'Aspergillus.

2. Idem.................... Idem............... 5gr,0
3. Idem.................... Idem............... 0gr,7

	Poids total de trois récoltes successives.	Poids des cendres.	Poids des cendres pour 100 gr. de plante.
	gr.	gr.	gr.
Nos 1........	25	1,53	6,37
2........	13	0,65	5,00
3........	4	0,08	2,00

Plusieurs conséquences ressortent de la comparaison de ces nombres.

1° L'*Aspergillus* a pour les matières minérales du liquide qui le nourrit une faculté d'absorption considérable : en effet, les récoltes pèsent environ six fois plus à l'état humide qu'à l'état sec ; 100 grammes de plantes desséchées pèsent donc, étant humides, 600 grammes. Or, 600 grammes de récolte humide des nos 1, 2, 3 contenant respectivement 6gr,37, 5 grammes,

2 grammes de cendres, 3000 grammes de ces récoltes fourniraient les poids de cendres suivants :

	gr.
Nos 1	31,85
2	25,00
3	10,00

Or 3000 grammes des liquides de ces mêmes essais renferment seulement :

	gr.	
Nos 1	8,2	de matières minérales.
2	5	Idem.
3	0,7	Idem.

La proportion de cendres sous le même poids est donc bien plus forte dans la plante que dans le liquide nutritif.

2° Une même espèce de Mucédinée peut renfermer *sous le même poids* des proportions de matières minérales très-variables : celles-ci croissent avec la richesse du sol en matières salines.

3° La proportion de cendres de l'*Aspergillus* augmente moins vite que la quantité de matières minérales du milieu artificiel, toutes choses égales d'ailleurs; car les poids de matières minérales des liquides des trois essais précédents étant proportionnels aux nombres :

1 7 12

les cendres contenues dans un même poids de récolte sont dans le rapport des nombres :

1 2,5 3,2

Deuxième expérience.

On a recommencé les deux essais n° 2 et n° 3 de la première expérience; mais on a comprimé fortement les récoltes dans un étau, pour en extraire la majeure partie des matières solubles; les récoltes ont laissé à l'incinération :

	gr.	
Nos 2	3,9	pour 100 gr. de plante desséchée.
3	1,7	— — —

Troisième expérience.

On a mis à l'étuve des essais semblables au n° 2 et au n° 3 (1re expér.); mais les récoltes ont été pressées à l'étau et lavées à l'eau froide cinq ou six fois ; elles ont donné :

	gr.	
Nos 2.........	1,7	de cendres pour 100 gr. de plante à l'état sec.
3.........	0,9	—

Rapprochons les nombres correspondants de ces trois expériences :

	1re expérience.	2e expérience.	3e expérience.	
Nos 2.......	5	3,9	1,7 ...	pour 100 gr. de plante.
3.......	2	1,7	0,9....	—

Rapports de ces nombres.

$$\frac{\text{N}^\circ\ 2}{\text{N}^\circ\ 3}\ \cdots\cdots\cdots\ \frac{5}{2}=2{,}5 \quad \frac{3{,}9}{1{,}7}=2{,}3 \quad \frac{1{,}7}{0{,}9}=1{,}9$$

Ces nombres donnent lieu à deux remarques principales :

1° La presque totalité des matières minérales de la Mucédinée est soluble dans l'eau, puisque la proportion de ces matières paraît diminuer indéfiniment par des lavages réitérés à l'eau froide;

2° Quel que soit le degré de purification des récoltes par des lavages à l'eau pure, les proportions de cendres qui correspondent à 100 grammes de plante desséchée varient toujours dans le même sens que celles des matières minérales des milieux artificiels; mais les rapports des poids de ces cendres se rapprochent de l'unité à mesure que les poids eux-mêmes tendent vers 0.

Du rôle des éléments du milieu type dans la végétation de l'Aspergillus. — L'étude physiologique du milieu artificiel propre au développement de l'*Aspergillus* comprend deux questions : démontrer l'influence des éléments de ce milieu ; déterminer le rôle de chacun d'eux. Je pense avoir traité la première question assez complétement ; c'est à peine si j'ai effleuré la seconde.

A celle-ci se rattachent pourtant les deux derniers problèmes que j'ai abordés dans ce mémoire, je veux parler de la recherche des relations qui lient le poids de la plante au poids de chaque élément du milieu ; et de l'étude analytique des produits de la végétation. C'est ce que je vais essayer de prouver, en indiquant la marche à suivre pour jeter quelque lumière sur le rôle des éléments du milieu type dans le développement d'un végétal.

Pour déterminer le rôle d'un de ces éléments, il faut examiner s'il se transforme chimiquement, et en quels produits il se transforme. Ce genre de recherches appartient aux *procédés analytiques*, variables d'une substance à une autre. A cet égard, les résultats auxquels l'analyse m'a conduit précédemment indiquent bien que le sucre se transforme chimiquement, que les matières minérales se modifient ; mais la question de savoir en quoi consistent ces métamorphoses subsiste tout entière.

A mon avis, avant de chercher à pénétrer la nature intime de ces transformations chimiques, il importe de découvrir s'il existe un rapport constant entre le poids d'un élément transformé et le poids du végétal développé, ou bien si ce rapport est plus ou moins variable : de là résulte immédiatement la nécessité absolue ou l'utilité plus ou moins grande de cet élément pour l'organisation de la matière.

La *détermination de ce rapport*, et par suite la solution du problème qui nous occupe, semblent appartenir à l'analyse : c'est l'analyse en effet qui nous a appris (page 280) que le rapport du poids du sucre modifié au poids de plante développée est sensiblement constant, résultat qui nous conduirait à admettre la nécessité de la transformation du sucre dans l'acte de la végétation, si cette vérité avait besoin d'être démontrée. Les matières minérales paraissent s'écarter de cette loi : car le rapport du poids des cendres de l'*Aspergillus* au poids de la Mucédinée a varié (page 281) avec la composition du milieu. Devons-nous en conclure que les matières minérales n'interviennent pas *en proportions définies* dans la formation du végétal ? Je ne le pense pas. Car une portion des matières minérales qui se sont transformées chimique

ment au contact du végétal a dû se dissoudre dans le liquide ambiant et échapper à l'analyse ; en outre, le poids de ces matières contenues dans la Mucédinée a été augmenté par des sels absorbés physiquement, et variables avec la composition du milieu (car les végétaux peuvent absorber tout ce qui est soluble, même les poisons). En pesant les cendres du végétal, on n'a donc pas dosé, en réalité, les matières minérales transformées par la végétation. Ces causes d'erreurs s'appliquent naturellement à chacun des éléments dont les cendres du végétal se composent ; mais certains d'entre eux présentent encore à l'analyse d'autres difficultés : ce sont ces éléments qui interviennent dans l'acte de la végétation en proportions si minimes qu'il nous est impossible d'en fixer la limite inférieure ; en sorte que si l'analyse ne décelait aucune trace d'un pareil élément dans les cendres de l'*Aspergillus*, il ne serait pas démontré que ce végétal peut s'en passer, mais simplement qu'il en exige une proportion assez petite pour échapper aux procédés analytiques.

L'*analyse* sur le sujet qui nous occupe n'a donc pas donné tout ce qu'elle promettait ; la *synthèse* va nous offrir à cet égard des ressources nouvelles.

Prenons le cas particulier d'un milieu artificiel, d'ailleurs complet, qui contienne un de ses éléments en quantité petite par rapport à celle qui entre dans le milieu type : si le développement de l'*Aspergillus* est nécessairement corrélatif d'une modification chimique de cet élément, il est probable que celui-ci, dans le cas que j'ai supposé, se transformera en totalité par l'action prolongée de la végétation. J'ai constaté, par exemple, que l'*Aspergillus*, en se développant, fait disparaître tout le sucre qui existe dans un milieu en proportion suffisamment petite.

S'il en est ainsi, il suffira d'introduire dans des milieux identiques des quantités variables et relativement très-faibles de l'élément qu'on veut étudier, et de constater que le poids de cet élément est en rapport constant avec le poids total du végétal développé, pour en conclure que la transformation de l'un et le développement de l'autre ont entre eux une relation *nécessaire*.

Tel est le résultat que les variations des quantités de sucre nous ont offert (page 287) : tant que ce poids n'a pas dépassé 15 grammes par litre de liquide, l'accroissement du poids de la récolte totale a été proportionnel à l'augmentation du sucre : de ce seul fait résulte l'intervention du sucre dans la végétation en proportions définies. Il est vrai que, pour un même poids de sucre transformé, l'analyse nous a indiqué un poids de plante supérieur au poids déterminé par la synthèse (pages 288 et 290) ; mais les nombres auxquels l'analyse nous a conduit s'appliquent à des essais contenant de fortes proportions de sucre : dès lors, une portion de ce sucre, absorbé physiquement par les récoltes, a dû contribuer à en augmenter le poids.

Il serait donc intéressant d'appliquer le *procédé synthétique* à rechercher si les éléments minéraux du milieu type, malgré leurs minimes proportions, sont absolument nécessaires à la végétation de l'*Aspergillus*.

CONCLUSIONS.

Il me paraît utile de rassembler ici les résultats les plus immédiats de mes études sur le développement de l'*Aspergillus* dans un milieu artificiel :

1° La méthode de recherches physiologiques fondée sur le développement des organismes inférieurs, en particulier des Mucédinées, dans les milieux artificiels est due à M. Pasteur, qui, le premier, a découvert un mélange de composés chimiques définis approprié à la vie de ces petites plantes.

2° J'ai donné, en un sens, à cette méthode la sûreté, la précision, la facilité d'application qui lui manquaient, en obtenant dans un milieu artificiel, des récoltes d'une Mucédinée spéciale, abondantes, de poids constant, sans mélange d'espèces étrangères.

3° J'ai montré qu'il suffit pour atteindre ce but relativement à l'*Aspergillus*, et *obtenir sûrement en six jours 25 grammes de cette Mucédinée à 1/20e près*, de réunir un certain nombre d'éléments favorables à la végétation :

1° *Éléments physiques.*

Une température de 35 degrés; un air humide et convenablement renouvelé; des vases peu profonds.

2° *Éléments chimiques.*

Oxygène de l'air.

Eau	1500
Sucre	70
Acide tartrique	10
Ammoniaque	2,0
Acide phosphorique	0,4
Acide sulfurique	0,25
Silice	0,03
Potasse	0,4
Magnésie	0,2
Oxyde de zinc	0,04
Oxyde de fer	0,03

3° *Élément physiologique.*

Spores d'*Aspergillus.*

4° Le poids total de plante obtenu dans ces conditions ne s'écarte pas beaucoup du rendement théorique maximum que pourrait donner la même quantité de matières nutritives; il est supérieur au poids de Mucédinée qui peut se développer, à égales quantités de matières nutritives, sur un liquide organique naturel.

5° Le mode de développement de l'*Aspergillus*, principalement le poids de la récolte fourni dans un temps donné par un même milieu, varie suivant des lois dont j'ai précisé le sens, lorsqu'on fait varier une à une les circonstances physiques précédemment indiquées : la température, l'état hygrométrique de l'atmosphère, le renouvellement de l'air, la forme des vases.

6° Tous les éléments du milieu artificiel type concourent simultanément au développement du végétal; car si l'on supprime tour à tour chacun d'eux, le poids de la récolte subit une diminution qu'on ne saurait attribuer aux erreurs des expériences. M. Pasteur a mis en lumière l'intervention de l'oxygène, du sucre, de l'acide tartrique, de l'ammoniaque, de sels miné-

raux composés de phosphates alcalins et terreux, dans la végétation des Mucédinées. J'ai vérifié ces résultats ; j'ai mis hors de doute l'influence, déjà pressentie, de l'acide phosphorique, de la potasse, de la magnésie; j'ai découvert l'efficacité plus inattendue de l'acide sulfurique, de l'oxyde de zinc, de l'oxyde de fer, de la silice, dans la végétation de l'*Aspergillus ;* j'ai montré que les effets de ces oxydes sont indépendants des sels dont ils font partie.

7° Les oxydes minéraux du milieu artificiel ne peuvent se remplacer physiologiquement les uns les autres : à chacun d'eux est dévolu un rôle spécial.

8° L'acide nitrique peut remplacer l'ammoniaque comme élément azoté ; l'acide nitreux et l'acide cyanhydrique paraissent impropres à l'assimilation.

9° Le fer paraît avoir pour rôle spécial d'empêcher la formation de certaines substances vénéneuses pour l'*Aspergillus.*

10° J'ai mesuré l'utilité des éléments chimiques essentiels au développement de l'*Aspergillus*, par le rapport du poids de récolte fourni par le milieu complet au poids de récolte obtenu en supprimant un à un chaque élément; voici les valeurs maxima que ces rapports ont pu atteindre :

Par la suppression	de l'oxygène	très-grand.
Id.	de l'eau	∞
Id.	du sucre	65
Id.	de l'acide tartrique	∞
Id.	de l'ammoniaque	153
Id.	de l'acide phosphorique	182
Id.	de la magnésie	91
Id.	de la potasse	25
Id.	de l'acide sulfurique	24
Id.	de l'oxyde de zinc	10
Id.	de l'oxyde de fer	2,7
Id.	de la silice	1,4

11° Les poids des divers éléments du milieu artificiel qui concourent à former le végétal sont de divers ordres de grandeur : les uns sont supérieurs au poids du végétal lui-même ; les autres lui sont inférieurs, et atteignent des proportions extrême-

ment petites, dont nous ne pouvons fixer dès à présent la limite inférieure. Les nombres suivants donnent une idée assez nette du rapport du poids de chaque élément du milieu type au poids de Mucédinée qu'il contribue à former :

Rapport relatif à l'oxygène	2 ?
Id. à l'eau	42
Id. au sucre	3
Id. à l'acide tartrique	$\frac{1}{14}$
Id. à l'azote (de l'ammoniaque)	$\frac{1}{17}$
Id. au potassium (de la potasse)	$\frac{1}{64}$
Id. au phosphore (de l'acide phosphorique)	$\frac{1}{157}$
Id. au magnésium	$\frac{1}{200}$
Id. au soufre	$\frac{1}{346}$
Id. au zinc	$\frac{1}{953}$
Id. au fer	$\frac{1}{857}$
Id. au silicium	$\frac{1}{320}$

12° Certains sels minéraux sont éminemment vénéneux pour l'*Aspergillus ;* voici quelques-uns de ces sels, avec les proportions minima qui nuisent sensiblement aux progrès du végétal :

Le nitrate d'argent	est vénéneux à la dose min. de	$\frac{1}{1\,600\,000}$	du poids du liquide artific.
Le chlorure de mercure	idem	$\frac{1}{512\,000}$	idem.
Le chlorure de platine	idem	$\frac{1}{8000}$	idem.
Le sulfate de cuivre	idem	$\frac{1}{240}$	idem.
L'acide sulfurique libre	idem	$\frac{1}{500}$	idem.

13° Les poids des éléments chimiques d'un milieu artificiel paraissent liés au poids de la récolte totale de ce milieu par des relations numériques assez simples et précises.

14° Les proportions des éléments du milieu artificiel exercent une influence marquée sur l'espèce de Mucédinée qui se développe dans ce milieu.

15° J'ai indiqué une modification de la méthode généralement suivie dans ce travail, qui permet de mieux faire ressortir les effets produits par les éléments du milieu type sur le développement de l'*Aspergillus*.

16° J'ai précisé la marche à suivre, soit pour étudier plus complétement l'influence des éléments chimiques dont j'ai reconnu l'utilité, soit pour en découvrir de nouveaux, soit pour pénétrer le rôle intime de chacun d'eux.

III

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les résultats que je viens d'exposer ont moins d'importance par eux-mêmes que par les relations qu'ils présentent avec les lois fondamentales de la chimie des êtres inorganisés et surtout de la chimie générale des végétaux : ce sont ces relations que je vais essayer de mettre en lumière.

Comparaison entre la formation des Mucédinées dans un milieu artificiel et la production des composés chimiques inorganisés. — Je l'ai déjà dit (page 188), le développement d'un végétal peut être assimilé à la formation d'un composé chimique, en ce sens que l'un et l'autre peuvent se produire de toutes pièces par la réaction d'éléments chimiques définis dans des circonstances convenables. Cette vue n'est pas nouvelle ; mais je crois, en m'appuyant sur les conclusions de mon travail, pouvoir la formuler avec plus de précision qu'on ne l'a fait jusqu'ici :

1° La formation d'un *végétal* (l'*Aspergillus*, par exemple), comme celle d'un *composé chimique*, est influencée par un certain nombre de circonstances physiques parmi lesquelles la température occupe le premier rang.

2° Le végétal et le composé chimique naissent de la réaction

de certains éléments chimiques, dont le concours simultané est essentiel ; car la suppression d'un seul élément suffit pour entraver les progrès de la réaction.

3° Dans l'un comme dans l'autre cas, la présence de certaines substances chimiques peut nuire à la réaction.

4° L'influence qu'exerce sur la production de ces êtres un composé chimique dépend, et de la forme du composé, et des éléments simples dont il est formé.

5° Il existe des relations numériques précises entre le poids du végétal ou du composé chimique et la composition quantitative du milieu au sein duquel ils se forment.

Mais il y a aussi entre les réactions de la chimie des êtres inorganisés et celles de la chimie des végétaux (Mucédinées) deux différences essentielles :

1° En général (sauf le cas des actions catalytiques), les poids des éléments chimiques qui interviennent dans la production d'un composé inorganisé sont de même ordre de grandeur ; les poids des éléments qui concourent à l'élaboration d'un végétal sont de différents ordres de grandeur ; et en particulier certains de ces éléments produisent des effets considérables, bien qu'ils soient en proportions extrêmement petites par rapport au poids du végétal.

2° Un composé inorganisé se forme en général par la réaction d'un petit nombre d'éléments chimiques définis ; un végétal exige le concours d'un plus grand nombre d'éléments : car dans le milieu complet dont je me suis servi, il entrait douze composés définis contenant onze corps simples, et peut-être d'autres éléments non moins essentiels m'ont-ils échappé. Cette vue est fort éloignée de l'ancienne opinion qui regardait quatre corps simples : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, comme suffisant à organiser la matière.

Je ne parle ici que des caractères purement chimiques : je laisse de côté l'intervention du germe, condition physiologique inhérente à l'organisation de la matière.

Cette comparaison nous conduit immédiatement à l'application de la végétation des Mucédinées à l'*analyse chimique :* en

effet, pour doser un élément en dissolution dans un liquide, on provoque d'ordinaire une réaction chimique, qui donne naissance à un composé solide en relation avec cet élément; or un végétal n'est-il pas une sorte de composé chimique solide dont la formation est intimement liée à la présence d'un grand nombre d'éléments définis?

Pour appliquer ce principe, on préparera deux vases contenant des milieux artificiels convenables et identiques; dans l'un d'eux, on ajoutera la substance qu'on veut analyser; on fera végéter l'*Aspergillus*, dans ces deux essais; et la différence de poids des deux récoltes donnera des indications sur la composition de la substance ajoutée.

Par exemple, pour rechercher l'acide phosphorique dans un mélange de sels, on préparera deux milieux artificiels contenant tous les éléments essentiels à la vie de l'*Aspergillus*, moins l'acide phosphorique; dans l'un d'eux on fera dissoudre le mélange salin; on sèmera dans les deux vases des spores d'*Aspergillus*, et la différence des récoltes donnera des indications sur l'acide phosphorique du mélange.

Cette méthode n'est probablement pas limitée à l'*analyse qualitative;* les relations numériques précises que nous avons entrevues entre le poids du végétal et le poids de chacun des éléments du milieu où il vit, nous portent à penser qu'elle se prêterait également à l'analyse quantitative.

Évidemment la méthode d'analyse que je propose ici n'est pas générale; mais il n'existe en réalité en chimie que des procédés d'analyse limités à un petit nombre de composés, et si l'on réfléchit au grand nombre de substances chimiques qui exercent sur l'*Aspergillus* une influence utile ou funeste, peut-être jugera-t-on cette méthode susceptible d'un certain degré de généralité.

Mais si elle ne présentait pas, dans certains cas, des avantages sérieux sur l'*analyse chimique proprement dite*, elle ne serait qu'une curiosité stérile, peu digne d'intérêt. Aussi je vais indiquer quelques cas dans lesquels elle aurait sans doute sur les autres procédés d'analyse une réelle supériorité.

Tous les agronomes reconnaissent l'insuffisance de l'analyse chimique appliquée à l'agriculture : c'est pour ce motif qu'on a proposé d'analyser les engrais et les terres par la végétation. Or, s'il est vrai que, au point de vue chimique, les Mucédinées se rapprochent considérablement des végétaux supérieurs (page 209), elles offrent à l'agriculture une méthode d'analyse qui, par la rapidité des opérations, par la facilité d'exécution, par les nombreux éléments chimiques qu'elle peut atteindre, par sa précision enfin, est incontestablement supérieure à la méthode d'analyse par les grands végétaux fondée sur le même principe (voy. page 141).

Les procédés analytiques de la chimie deviennent souvent impuissants à déceler de très-petites proportions d'un élément mêlé à une grande quantité de matières complexes : les Mucédinées, à cause de la facilité avec laquelle elles savent choisir les éléments qui leur conviennent dans les mélanges les plus compliqués, et aussi à cause des minimes proportions de certains composés qui suffisent à produire des différences de récoltes considérables, me paraissent merveilleusement appropriées à des cas de ce genre. Ainsi nous avons vu l'*Aspergillus* nettement impressionné par une proportion de nitrate d'argent égale à 1/1600000 du poids du liquide artificiel ; or dans l'eau pure le chlorure de sodium n'a pu déceler que 1/500000 de sel d'argent, et dans les dissolutions salines, une proportion beaucoup plus forte. C'est ainsi que, n'ayant pu réussir à développer l'*Aspergillus* dans un liquide artificiel approprié, contenu dans un vase d'argent, j'ai dû en conclure que l'argent se dissout dans ce liquide, et pourtant les réactifs de ce métal n'y donnaient point de précipité.

Découvrir la forme du composé d'un élément chimique dans une dissolution, est un problème ordinairement fort délicat, quelquefois insoluble par les méthodes ordinaires. Or, l'action d'un élément chimique sur le développement des Mucédinées dépend de la forme du composé de cet élément. La méthode d'analyse par ces petits organismes trouve donc encore ici une application toute naturelle. Par exemple, on pourrait, dans

certains liquides, distinguer par les Mucédinées l'azote à l'état d'acide nitrique ou d'ammoniaque, de l'azote à l'état d'acide nitreux ou d'acide cyanhydrique. Si l'expérience vérifiait cette hypothèse que l'action de l'acide sulfurique sur le développement de l'*Aspergillus* est due à l'effet propre de l'acide nitrique déplacé (page 223) l'étude du développement de cette Mucédinée pourrait nous éclairer sur le partage réciproque des acides et des bases dans une dissolution.

Mais je n'insiste pas davantage sur cet ordre de faits dont l'expérience seule peut fixer la valeur.

Comment les résultats obtenus sur la végétation de l'Aspergillus se rattachent aux lois générales de la chimie des végétaux. — Abordant des analogies d'un ordre plus élevé, je vais indiquer rapidement les rapports qui existent entre les faits consignés dans ce mémoire et les lois générales de la physiologie.

Bien que la question des générations spontanées soit aujourd'hui complétement épuisée, peut-être n'est-il pas sans intérêt de faire remarquer que mes recherches sur l'*Aspergillus* achèvent de renverser l'hypothèse fondamentale de l'hétérogénie : dans cette doctrine on est obligé d'admettre que la spontéparité ne se produit que dans les matières organiques naturelles : M. Pasteur fit voir que cette hypothèse est contraire aux faits, puisque les organismes inférieurs se développent spontanément dans les milieux artificiels comme dans les milieux naturels. Cependant il restait ce fait intéressant, que la vie progressait plus lentement dans les liquides artificiels que dans les matières naturelles, de sorte que celles-ci paraissaient avoir une force d'organisation supérieure à celle des milieux artificiels, hypothèse assez conforme à la doctrine de l'hétérogénie. Que devient cette hypothèse, s'il est prouvé, comme je le crois, du moins en ce qui concerne les Mucédinées, qu'un milieu artificiel convenablement choisi est plus apte à organiser la matière que les substances les plus putrescibles.

D'autre part, mes résultats sur l'*Aspergillus* ne sont que le développement et l'extension, en un sens, des résultats de M. Pasteur sur la végétation des organismes inférieurs dans les

milieux artificiels : ils confirment donc pleinement, quoique indirectement, la découverte par laquelle ce savant porta les derniers coups aux théories de Berzelius et de Liebig sur les fermentations.

Ainsi que nous l'avons remarqué précédemment, les grands végétaux empruntent leur carbone, leur hydrogène, leur oxygène à l'acide carbonique et à la vapeur d'eau, tandis que les Mucédinées prennent ces éléments au sucre.

Mais à part cette différence profonde, l'étude de ces deux sortes de végétaux nous révèle des analogies fort remarquables : tandis que l'acide nitrique ou l'ammoniaque, l'acide phosphorique, la potasse, font partie des milieux artificiels propres aux grands végétaux et aux organismes inférieurs, l'azote de l'acide nitreux et de l'acide cyanhydrique n'est point assimilable par ces deux sortes d'êtres vivants.

En dehors de ces résultats communs, il en est d'autres, acquis pour les seuls organismes inférieurs, et qui prouvent que la théorie chimique des phénomènes de la vie est plus avancée pour les petits végétaux que pour les grandes plantes :

1° La végétation des Mucédinées dans les milieux artificiels m'a donné des récoltes relativement plus fortes que celles qu'on obtient dans les milieux naturels ; au contraire, pour les grands végétaux, on n'a pas encore réussi à obtenir dans les sols artificiels un développement aussi abondant que dans les terrains naturels.

2° J'ai pu rendre constantes à 1/20e près les récoltes d'*Aspergillus* avec engrais complet, et j'ai obtenu entre le poids des récoltes et le poids de certains éléments du milieu artificiel, des relations numériques constantes : les expériences sur les végétaux supérieurs n'ont point approché de cette précision : il me semble aussi que les auteurs de ces expériences ne se sont pas toujours préoccupés autant que moi de déterminer l'erreur relative de leurs procédés, élément qui a une si grande importance dans la discussion des résultats de recherches précises.

3° J'ai eu soin dans mes expériences de supprimer du milieu complet un seul *oxyde* à la fois, de sorte que les effets observés se rapportent légitimement à cet oxyde ; au contraire, dans la

suite des expériences que j'ai rapportées sur les grands végétaux, cette condition n'a pas toujours été remplie; souvent un sel formé de deux oxydes a été supprimé en entier, et l'effet obtenu peut être attribué aux deux éléments.

4° J'ai pu mesurer les effets des divers éléments du milieu artificiel sur la végétation par des rapports bien supérieurs aux rapports correspondants des expériences qui ont pour objet les grands végétaux.

5° Outre les éléments dont la synthèse a constaté l'intervention directe dans la végétation des grandes plantes, j'ai découvert plusieurs éléments essentiels à la formation de l'*Aspergillus :* la magnésie, l'acide sulfurique, l'oxyde de zinc, l'oxyde de fer, la silice; l'un d'eux principalement, l'oxyde de zinc, n'a pas été signalé jusqu'ici comme élément essentiel à la vie des êtres organisés.

6° J'ai rendu manifeste l'intervention dans la vie de l'*Aspergillus* de certains éléments essentiels en proportions extrêmement petites, principe qui ne se dégageait pas aussi nettement des expériences relatives aux grands végétaux.

7° On ne s'est guère préoccupé jusqu'ici de l'influence de l'acidité ou de l'alcalinité des terrains sur les grands végétaux; or, on sait depuis longtemps quel rôle joue la nature acide ou alcaline des milieux dans le développement des êtres inférieurs.

Ces considérations nous conduisent naturellement à cette conclusion : puisque les phénomènes (sauf ceux qui concernent l'assimilation du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène) qui ont été étudiés à la fois dans les grands végétaux et dans les Mucédinées présentent des analogies complètes, n'est-il pas probable que les faits de même ordre observés jusqu'ici dans les seules Mucédinées se reproduisent chez les grands végétaux? En particulier, on ne peut guère se refuser à admettre l'influence de la nature acide ou alcaline du sol sur le développement des végétaux supérieurs comme sur les Mucédinées. L'efficacité du soufre, du magnésium, du silicium dans le développement de l'*Aspergillus* confirme les faits d'observations qui paraissent leur assigner un rôle utile dans la vie des grands végétaux. Et si les individus placés aux extrémités opposées de

la série des végétaux nous ont paru tellement semblables au point de vue chimique, comment ne pas appliquer ces analogies à tout le règne végétal ?

A un point de vue très-général, les phénomènes chimiques de la vie de l'*Aspergillus* peuvent se résumer en deux mots : d'une part, cet organisme consomme du sucre et de l'oxygène comme les animaux ; de l'autre, il exige l'intervention d'oxydes minéraux (AzH^4O ou AzO^5, PhO^5, KO, MgO, SO^3,ZnO, FeO, SiO^3) de même ordre que les oxydes assimilables par les végétaux supérieurs (CO^2, HO, AzH^4O ou AzO^5, PhO^5, KO). C'est ainsi que les êtres vivants inférieurs rentrent dans la loi que posa, il y a trente ans, l'auteur de l'*Essai de statique chimique des êtres organisés*, et que de nouveaux composés chimiques paraissent devoir y rentrer également. La loi de M. Dumas, agrandie en deux sens, par les études chimiques sur les organismes inférieurs, demeure, avec son caractère primitif, la loi fondamentale de la chimie rationnelle des êtres vivants.

Ces considérations sont étroitement liées aux progrès de la science agricole : car la connaissance exacte du milieu propre au développement de chaque espèce de plante tend à substituer à l'empirisme les pratiques de culture rationnelles. C'est ce que j'ai déjà dit dans la première partie de ce travail, en parlant du système d'engrais chimiques de M. Ville qui repose sur ce principe ; mais j'ai exprimé des craintes sur l'insuffisance possible de ces engrais pour alimenter la végétation. Mes recherches expérimentales ont confirmé cette prévision : il est bien improbable que les grands végétaux puissent se contenter de trois ou quatre éléments minéraux, alors que les Mucédinées, organismes plus simples, exigent ces éléments et d'autres encore. Mais en même temps mes recherches indiquent qu'on pourra un jour en toute sûreté substituer des engrais chimiques, convenablement choisis, aux engrais naturels, puisque les milieux artificiels ne sont pas moins aptes que les milieux naturels à donner à la végétation toute sa vigueur.

On peut conclure encore de mes recherches que le milieu le plus propre au développement d'un végétal est moins approprié

aux besoins d'un autre végétal, et que si l'on sème les germes de ces deux espèces dans ce milieu, la première s'y développera seule, ou du moins finira par envahir le milieu tout entier aux dépens de la seconde. C'est au moins ce que l'expérience a prouvé à l'égard des moisissures : l'*Aspergillus* semé dans un milieu parfaitement approprié s'y développe seul ; les germes du *Penicillium* qui se trouvent dans l'air ou qu'on y sème parallèlement ne peuvent prendre le dessus. Mais si la composition du milieu est légèrement modifiée, le *Penicillium* envahit d'ordinaire la surface du liquide en tout ou en partie. (page 273).

Appliquons ce principe aux espèces parasites qui vivent sur les végétaux ordinaires :

Si un végétal est semé dans un terrain chimiquement identique avec le milieu qui lui est propre, la substance de ce végétal contiendra les mêmes éléments, et les parasites dont les germes pullulent dans l'air ne pourront s'y implanter. Mais si la composition du terrain s'écarte de celle de ce milieu type, des parasites pourront envahir le végétal, comme l'oïdium la vigne, le botrytis la pomme de terre, etc., si la matière du végétal modifiée convient à leur développement. Sans doute on peut trouver des remèdes empiriques contre ces fléaux, mais le moyen rationnel de les détruire radicalement ne serait-il pas de ramener le sol à la composition du milieu type du végétal que l'on cultive ?

En résumé, l'emploi rationnel des engrais, si ces vues sont exactes, serait le plus sûr moyen d'assurer à chaque culture des rendements maxima en temps ordinaire, et de prévenir ces grandes perturbations physiologiques qui, sous le nom d'épidémies, viennent ravager de temps à autre de florissantes cultures.

Les considérations générales que je viens d'exposer paraîtront sans doute un peu vagues ; elles ne sont en effet fondées pour la plupart que sur l'induction ; mais elles s'appliquent à un ordre de faits si obscur encore et si important, que j'ai cru ne devoir rejeter aucun élément capable d'y porter quelque lumière.

Du moins ces considérations justifient, j'en ai la conviction, ce que j'ai avancé précédemment, c'est-à-dire que la méthode synthétique est plus féconde pour l'étude des Mucédinées que pour celle des grands végétaux, et que les résultats relatifs aux petits organismes peuvent préparer les voies pour l'étude des phénomènes de la vie chez les végétaux supérieurs.

DISCOURS SUR LA GÉOGRAPHIE DES ÊTRES VIVANTS,

PRONONCÉ

Par M. G. BENTHAM,

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE LONDRES, A LA SÉANCE ANNIVERSAIRE DU 24 MAI 1869.

MESSIEURS,

Mon principal but, dans les discours que je vous adresse tous les ans à l'occasion de cet anniversaire, a été jusqu'ici de vous offrir le tableau des progrès que notre science fait d'année en année, progrès qui sont dus en grande partie à l'établissement de sociétés scientifiques semblables à la nôtre dans les principaux centres de civilisation. Mais recommencer chaque fois une revue générale de ce vaste sujet, est un travail qui dépasse mes forces, et qui pourrait vous lasser par son uniformité. J'ai donc choisi aujourd'hui une branche de la science, dont l'origine est encore récente, mais qui acquiert chaque jour plus d'importance aux yeux du naturaliste philosophe, je veux parler de la géographie des êtres vivants.

Pour avoir une idée générale de la distribution géographique et des migrations des espèces, de l'importance des faits qu'elles expliquent dans l'histoire des êtres organisés, et plus indirectement dans celle du règne inorganique, je ne saurais mieux faire que de renvoyer au second volume des *Principles of Geology* de sir Charles Lyell. On trouvera dans les chapitres XXXVIII à XLIII (dixième édition) un résumé très-clair

des conclusions qu'on peut tirer des principaux faits actuellement connus, relativement à toutes les grandes classes des êtres organisés. Mais sur beaucoup de points la science est encore dans l'enfance. Il y a des contrées qui, sans être fort étendues, ont une grande importance au point de vue qui nous occupe, et dont la végétation ou la faune, ou toutes deux à la fois, sont encore presque inconnues. Il y en a beaucoup d'autres dont les animaux surtout, quoique décrits en détail, ont été à peine comparés avec ceux des pays éloignés, ou même des pays limitrophes. Je voudrais aujourd'hui montrer quel est l'état de nos connaissances actuelles sur la distribution géographique des principales classes de plantes et d'animaux, espérant appeler ainsi l'attention des naturalistes sur les nombreuses et vastes lacunes qu'il faudrait combler pour pouvoir établir avec certitude des conclusions générales. Si je suis forcé de répéter quelques-unes des observations déjà mentionnées dans mes discours de 1863 et 1866, je me bornerai à les rappeler très-brièvement, et seulement quand le sujet l'exigera.

Je suivrai l'ordre inverse de celui qu'a adopté sir Lyell, et je commencerai par les végétaux : d'abord parce qu'ils sont plus indépendants des autres classes que les animaux, et sont par conséquent les premiers occupants d'un pays nouveau ; ensuite parce que leur distribution est la plus compliquée, et enfin parce qu'elle a été l'objet des recherches les plus approfondies.

1. La distribution des végétaux, considérée en général (car toute règle biologique est sujette à des exceptions), dépend moins des autres classes que celle des animaux. Il est bien établi que l'abondance plus ou moins grande des moyens de nourriture est une des principales causes qui règlent la dispersion d'une race. Les animaux se nourrissent presque exclusivement, soit d'animaux ou de végétaux vivants, soit de matières animales ou végétales qui ne sont pas encore désorganisées. Les plantes se nourrissent de substances inorganiques ou désorganisées ; ou, si elles exigent ordinairement, peut-être toujours, une certaine quantité de matière organique, cette matière n'est

plus vivante, elle est plus ou moins décomposée et a pu rester inerte pendant des siècles. Aussi les végétaux, en ce qui concerne leur habitation, dépendent plus immédiatement et plus exclusivement du sol, du climat et des conditions géologiques, que toute autre classe d'êtres organisés.

2. La distribution des végétaux est la plus compliquée. Quoique l'individu végétal soit fixe et immobile, il n'y a pourtant point de classe où la race (1) puisse se disperser plus facilement et plus loin. Les oiseaux, grâce à l'énorme puissance et à la rapidité de leur vol, franchissent dans certaines saisons des distances immenses pour chercher leur nourriture ; mais ils reviennent au lieu de leur naissance pour élever leurs petits. Les plantes abandonnent leurs graines immobiles, prêtes à être transportées au loin par ces agents extérieurs que nous qualifions d'accidentels, mais sans lesquels plus d'une race serait exposée à périr, par suite de l'épuisement du sol dans l'espace limité qu'elle occupe. On trouve bien plus fréquemment dans les plantes que dans les animaux des exemples modernes ou relativement modernes de ces invasions parties de contrées lointaines, qui amènent la destruction plus ou moins complète des premiers habitants, ou qui les resserrent sur un point de leur territoire. Le changement graduel de l'aire occupée par les plantes, à la suite d'une modification dans le sol et le climat, est probablement plus général et plus rapide chez les végétaux immobiles que chez les plus agiles des animaux. Les expériences récentes de MM. Lawes et Gilbert montrent avec quelle promptitude le nombre et la proportion des espèces composant une végétation mélangée peuvent être modifiés par le moindre changement dans les ingrédients chimiques du sol. Le fait signalé par M. Hooker (*Introd. Ess.*, p. XII), que les aires des plantes sont plus étendues que celles des animaux, s'explique

(1) J'emploie le mot *race* au lieu d'*espèce*, parce qu'il est plus général et qu'il n'implique pas la détermination précise de ce qu'est une espèce. La race, dans le sens où je l'entends ici (équivalant à ce que Hæckel appelle le *phyton*), comprend à la fois la variété permanente, l'espèce et le groupe d'espèces, c'est-à-dire toute collection d'individus dont les caractères communs se perpétuent de génération en génération.

peut-être aussi bien par leurs moyens variés et complexes de dispersion que par leur plus grande ancienneté.

3. La Géographie botanique a été l'objet des recherches les plus approfondies. En effet, outre de nombreux essais plus anciens, c'est la seule partie sur laquelle nous possédions un traité complet antérieur à la publication des théories darwiniennes; et depuis lors, dans l'application de ces vues nouvelles à la distribution géographique, les botanistes ne sont certainement pas restés en arrière des zoologistes quant à l'importance de leurs travaux.

La *Géographie botanique raisonnée* de M. Alphonse De Candolle, publiée en 1855, est le résultat d'un grand nombre d'années de recherches et d'études. C'est un ouvrage inestimable comme exposition méthodique générale de faits et d'observations concernant la distribution des Phanérogames à la surface du globe, et leurs migrations naturelles ou artificielles. L'influence du sol et du climat sur les limites géographiques des espèces et des variétés, les changements opérés par la naturalisation, par la culture ou par d'autres actes de l'homme, l'histoire des espèces cultivées, et beaucoup d'autres points de moindre importance, sont traités avec une habileté et un soin qui feront longtemps de ce livre l'ouvrage classique sur ces sujets. Mais quant à la question plus générale des causes naturelles qui ont déterminé la distribution actuelle des végétaux, la science a subi une révolution complète par suite du développement des idées de Darwin, dont la publication a eu lieu quatre ans après celle de l'ouvrage de M. De Candolle. Cependant l'auteur a discuté les idées de son temps sur ce sujet à divers points de vue, et il arrive à cette conclusion : que les espèces actuelles ont pris naissance, soit en un seul exemplaire, soit en plusieurs individus, dans une ou dans différentes localités, simultanément ou, ce qui est plus probable, successivement, à une ou à diverses époques, quand la configuration géologique de la surface du globe différait beaucoup de ce qu'elle est aujourd'hui; chaque espèce ayant des caractères et une faculté de varier dans des limites déterminées essentiellement semblables à ceux

qu'elle possède actuellement. Admettant que certaines espèces se sont éteintes dans les temps primitifs comme cela a été observé depuis l'époque historique, il suppose que les espèces nouvelles qui les ont remplacées, ont été créées d'une manière que l'observation des phénomènes actuels ne saurait expliquer. Ces idées, que la grande majorité des naturalistes partageait au moment où écrivait M. De Candolle, et que quelques-uns d'eux soutiennent encore, conduiraient, si elles étaient adoptées, à supprimer toute recherche sur les rapports des faits avec leurs causes. Observer comment les espèces voisines sont groupées dans une même localité, comment certaines espèces sont représentées par d'autres à de grandes distances; noter entre des flores éloignées des analogies et des différences indépendantes de la migration et des influences climatologiques, tout cela ne serait plus que récolter des faits singuliers et de curieuses coïncidences, résultats de l'exercice arbitraire d'une volonté impénétrable pour l'esprit humain. Mais aujourd'hui ces faits ont pris une importance réelle depuis qu'on admet que nos espèces actuelles sont dérivées d'espèces plus anciennes, et qu'il existe par conséquent une étroite relation entre l'affinité et la communauté d'origine. Aussi je ne doute pas que, si M. De Candolle revisait son ouvrage, il ne suivît l'exemple de tant d'autres naturalistes éminents, et ne donnât un caractère tout à fait différent à quelques-uns des derniers chapitres du second et du troisième livre. Il avait déjà été conduit à adopter plusieurs idées de MM. Lyell et de Forbes, et à reconnaître que la distribution géographique actuelle des végétaux est, dans la plupart des cas, d'origine dérivée, provenant d'une distribution antérieure très-différente de celle qui existe aujourd'hui.

Il y a quelques autres points de moindre importance sur lesquels des observations ultérieures ne permettent pas d'accepter sans modifications les conclusions énoncées par M. De Candolle. J'en dirai quelques mots avant de passer à l'examen des ouvrages où les idées de Darwin sur l'origine des espèces ont été mises en œuvre pour expliquer la distribution géographique des plantes. Les points en question sont les suivants: 1° les

moyens de dissémination; 2° les dépôts de graines enfouies dans le sol; 3° les espèces disjointes.

1° *Moyens de dissémination.* — Quoique M. De Candolle en ait fait une exposition détaillée, ce sujet demanderait aujourd'hui beaucoup plus de développements. Ainsi l'auteur, qui regarde les graines comme étant à peu près le seul moyen de migration des végétaux, insiste sur les difficultés qui s'opposent à ce que les plantes aquatiques soient transportées à de grandes distances, — difficultés qu'il a quelque peine à concilier avec les exemples relativement nombreux d'espèces dispersées sur une vaste étendue que présentent ces mêmes plantes. Mais il oublie que c'est surtout dans les plantes aquatiques qu'on trouve des hibernacles ou autres bourgeons reproducteurs, ayant, comme les graines, la faculté de rester longtemps endormis, et pouvant de même être transportés à des distances immenses, ce dont nous voyons un exemple frappant dans l'invasion récente de l'un des sexes de l'*Elodea canadensis*. Quant au transport des graines et des bourgeons reproducteurs par les oiseaux, les insectes ou d'autres animaux voyageurs, on était loin d'en tenir assez compte, comme l'ont démontré surtout les observations de Darwin; et par contre, on accordait peut-être trop d'importance aux moyens de transport plus apparents qui résultent de la structure de la graine. Les ailes, les aigrettes, la déhiscence élastique des fruits, etc., ne peuvent en général transporter les graines qu'à une très-courte distance, et ne servent peut-être qu'à les placer en dehors de l'influence nuisible des racines ou de l'ombre de la plante mère; mais il est bien rare qu'on puisse leur attribuer un effet sérieux sur l'aire générale des espèces. Parmi les Composées, plusieurs espèces des genres *Eclipta*, *Elephantopus*, *Anthemis*, *Lapsana*, etc., dont les graines sont complétement dépourvues d'aigrettes, ont une aire beaucoup plus étendue que la grande majorité des Seneçons, par exemple, dont les graines sont légères et l'aigrette très-développée; et si nous examinons les aigrettes de Chardons qu'un vent violent a emportées à une grande distance, nous trouverons presque toujours qu'il n'y reste plus de graines attachées. La facilité avec laquelle les

graines munies de poils crochus adhèrent aux corps étrangers a été signalée avec raison comme facilitant leur dissémination : cependant ce ne doit être parfois qu'une bien petite cause de dispersion au milieu de tant d'autres. Je ne remarque pas en effet qu'aucun des vulgaires *Echinospermum* ou *Cynoglossum*, à graines pourvues de poils crochus, soit plus généralement ou plus promptement disséminé que les espèces également vulgaires de *Myosotis* à graines parfaitement lisses.

Si les moyens de transport des plantes sont infiniment plus variés et plus constants dans leur action qu'on ne le soupçonnait avant les observations de Darwin, les obstacles qui s'opposent à leur développement là où elles ont été transportées, sont tout aussi variés et tout aussi constants. Il faut que la graine déposée trouve une place vacante, un sol qui lui convienne, un degré de chaleur et d'humidité suffisant pour la faire entrer en germination avant qu'elle soit emportée ailleurs ou qu'elle périsse ; il faut encore que la plante nouvellement germée trouve un abri pendant qu'elle est jeune et délicate. Bref, il faut qu'elle échappe à ces nombreux accidents qui sont cause, par exemple, que, sur 100 000 graines de notre Digitale commune, 99 999 en moyenne périssent avant d'atteindre l'âge de la reproduction. Des nuées de graines fines et légères, emportées par un vent sec et tombant sur un sol découvert approprié à leur développement, pourront, si c'est pendant la sécheresse, être toutes dévorées par les insectes, les oiseaux ou d'autres animaux, avant qu'une ondée de pluie les ait mises en état de germer et de s'enraciner dans le sol ; au contraire, qu'un seul fruit d'Aubépine soit avalé par un oiseau, puis rejeté par lui dans quelque place accidentellement libre, par un temps chaud et humide, quand le germe a été suffisamment excité pour entrer immédiatement en végétation, ou bien qu'une corneille laisse tomber un gland dans un champ labouré pendant la très-courte période où les glands peuvent germer, cela suffit pour donner naissance à une Aubépine ou à un Chêne, comme on en voit naître souvent dans l'ouest de l'Angleterre, à plusieurs milles de distance de tout arbre de la même espèce. La lutte des in-

fluences opposées est en vérité si compliquée, que la naturalisation d'une plante n'est qu'un pur effet du hasard, et d'un hasard très-incertain. Les diverses causes qui ont introduit des plantes américaines en Europe ont agi pendant des siècles avant de parvenir à y naturaliser l'*Elodea canadensis*, que je citais tout à l'heure; et cependant l'organisation de cette plante présente des conditions très-favorables, comme le prouve la rapidité extraordinaire avec laquelle elle s'est répandue dans presque toute l'Angleterre, à travers des obstacles qui semblent infranchissables en théorie.

2° *Dépôts de graines.*—On n'a pas assez tenu compte de ce fait, que la dissémination des plantes par graines ou par bourgeons s'opère continuellement, sans résultat efficace dans les circonstances ordinaires, mais dans une proportion énorme. Une des conséquences de cette erreur a été de supposer qu'il existe d'immenses dépôts de graines enfouies à de grandes profondeurs, et prêtes à germer lorsque, après des années ou même des siècles, quelque accident les porte à la surface du sol. « Il faut donc regarder la couche de terre végétale d'un pays comme un *magasin de graines*, au profit des espèces indigènes. » (DC., *Géogr. bot.*, p. 625.) Je traite cette idée de supposition ; car bien qu'elle soit presque universellement acceptée comme un fait réel, il me semble qu'elle ne repose que sur des preuves indirectes, quand la preuve directe devrait être si facile à fournir. Je n'ai jamais pu trouver la mention d'un seul cas où l'on ait vu réellement ces magasins de graines ; et pourtant ces graines sont loin d'être microscopiques. Voici, je crois, par quelle série de raisonnements on a été conduit à faire cette supposition. — Le sol, quand il est mis à nu par une tranchée de chemin de fer, par des fouilles très-profondes, par le labourage etc., se couvre souvent d'une végétation qui diffère de celle des environs, par la proportion ou même par la nature des espèces : nous ne voyons pas comment les graines ont pu y être apportées ; elles devaient donc être dans le sol. D'ailleurs les matières végétales s'altèrent lentement, quand elles sont profondément enfouies ; et d'autre part on a vu germer des graines vieilles de plus d'un

siècle : il n'y a donc rien d'improbable à ce que les graines enfouies dans la terre conservent leur vitalité pendant un temps indéfini. — Mais ni les prémisses ni la conclusion de ce raisonnement ne me semblent à l'abri des objections. S'il est vrai que la décomposition des matières végétales est retardée quand elles sont profondément enfouies, et par conséquent moins exposées aux causes qui déterminent leur pourriture près du sol, néanmoins il n'y a qu'une seule condition dans laquelle ces matières puissent se conserver indéfiniment, c'est celle d'une dessiccation complète, que le sol ne peut leur donner. Les graines vieilles de cent ou cinquante ans qu'on a fait germer, avaient été bien séchées, et toujours conservées dans l'air sec d'un muséum. Quant à celles qui sont enfouies dans le sol, il est difficile de comprendre que de nombreux changements de saison puissent se succéder sans les exciter plus ou moins à entrer en végétation, sans amener leur décomposition ou l'infiltration de substances inorganiques qui détruiraient leur vitalité. Toutes les expériences prouvent que dans un lot de vieilles graines, quelque bien conservées qu'elles soient, plus les graines sont anciennes, moins on en trouve qui aient le pouvoir de germer ; si donc une seule pelletée de terre prise dans un dépôt de graines enfouies depuis longtemps pouvait donner naissance à une multitude de jeunes plantes, les graines mortes mêlées avec celles qui sont encore vivantes devraient être beaucoup trop nombreuses pour échapper à la vue. Sans doute nous ne sommes pas en droit de nier qu'il puisse exister de ces dépôts de vieilles graines, tant mortes que vivantes ; mais il est difficile d'y croire sans en avoir la preuve directe, et nous recommandons vivement cette vérification aux naturalistes qui auraient occasion de la faire (1). Je

(1) L'observation directe n'a donné jusqu'ici, à ma connaissance, que des résultats négatifs. En voici un exemple, que je tiens du docteur Hooker. En creusant le lac du jardin de Kew, on mit à découvert le lit d'une ancienne pièce d'eau, qui se couvrit d'une grande quantité de *Typha*. Cette plante ne croissant pas dans le voisinage immédiat, on en conclut que les graines devaient s'être trouvées dans le sol. Pour s'en assurer, le docteur Hooker fit prendre de la terre à côté de celle qui avait produit le *Typha*, et en remplit six caisses de Ward, qu'il surveilla soigneusement ; mais pas un seul pied de *Typha* ne leva.

n'ignore point d'ailleurs qu'on trouve souvent une grande quantité de bonnes graines au fond d'un puits ou dans la vase d'un étang; mais il est probable qu'elles y sont tombées très-récemment, et je doute fort qu'après une année révolue, il puisse y en avoir beaucoup, s'il en reste, qui ne soient ou mangées, ou germées, ou pourries.

3° *Espèces disjointes.* — M. De Candolle a rassemblé un grand nombre de faits curieux et intéressants sur les espèces dispersées ou disjointes. Mais cette importante question réclamerait de nouveaux développements, parce qu'on a fait depuis lors des observations beaucoup plus nombreuses, et surtout parce qu'il faudrait y comprendre des groupes un peu plus élevés que l'espèce dans le sens très-restreint qu'on donne aujourd'hui à ce mot. La dispersion des espèces correspondantes ou groupes d'espèces liées par une étroite affinité, si bien étudiées par M. Hooker, A. Gray et quelques autres, nous en apprend bien plus sur l'histoire générale de la distribution des plantes que les formes absolument identiques éparses sur des points éloignés du globe. Car pour ces dernières, quoiqu'elles soient beaucoup plus nombreuses que ne le croyait M. De Candolle, on peut souvent supposer que leur dispersion est plus ou moins récente, que ce sont de ces épaves pour lesquelles Wallace, dans son dernier ouvrage, veut introduire les termes de «*jetsam* ou *flotsam*», mots barbares de jurisprudence, qui, j'espère, ne seront pas adoptés. Dans l'ancienne doctrine qui attribuait toute race distincte à une création spéciale et complète, il suffisait d'observer la moindre différence entre deux formes analogues provenant de différentes parties du globe, pour conclure qu'elles avaient été créées séparément, ce qui mettait la question d'origine hors de discussion. Aujourd'hui les observations et les théories de Darwin ont jeté sur ces faits un jour nouveau. Les aires disjointes des sous-espèces ou variétés absolument identiques peuvent encore s'expliquer dans beaucoup de cas par un transport dont la date serait relativement moderne. Mais il n'en est pas de même des cas que je vais citer. Par exemple, les genres du nord-est de l'Amérique, *Illicium*, *Schizandra*, *Menispermum*, *Caulophyllum*, *Thermopsis*,

Podophyllum, *Amphicarpæa*, *Apios*, *Penthorum*, *Hamamelis*, *Diervilla*, *Phryma*, *Pyrularia*, et beaucoup d'autres, ont des représentants dans le nord-est de l'Asie.—Les genres mexicains ou californiens, *Microlotus*, *Hoffmanseggia*, *Strombocarpus*, *Melasma*, *Chorizanthe*, *Oxytheca*, etc., tous représentés dans l'Amérique méridionale extratropicale ; — ceux des Andes, *Caltha*, *Drimys*, *Colobanthus*, *Acæna*, *Eucryphia*, *Fuchsia*, *Gunnera* *Azorella*, *Huanaca*, *Crantzia*, *Abrotanella*, *Pernettya*, *Gaultheria*, *Ourisia*, etc., se retrouvent dans la Nouvelle-Zélande, la Tasmanie ou la province de Victoria. — Les *Cadaba*, *Cochlospermum*, *Polycarpæa*, *Adansonia*, *Melhania*, *Zygophyllum*, *Cassia pictæ*, *Pterolobium*, *Erythrophlæum*, etc., de l'Afrique tropicale, reparaissent en Australie. Je citerai encore les trois formes de *Wulfenia*, dont chacune occupe une aire restreinte, l'une en Carinthie, une autre en Asie Mineure, et la troisième dans l'Himalaya ; — les trois légères variétés du Cèdre, réparties entre l'Himalaya, le Liban et l'Atlas ; — le *Pinus excelsa* de l'Himalaya, qui est identique avec le *Pinus Peuce* de la chaîne du Scardus. Tous ces faits, et quantité d'autres semblables, jettent une vive lumière sur l'histoire des premiers âges du globe ; ils suggèrent l'idée d'une communauté d'origine, remontant à une époque où une partie au moins des barrières actuelles ne devait pas exister. On peut même supposer des connexions encore plus anciennes, d'après la corrélation que présentent des groupes encore plus élevés, tels que les Restiacées, Protéacées, Éricacées, Diosmées, etc., du sud de l'Afrique, qui sont représentées par des groupes correspondants, quoique différents, dans l'Australie.

Nous avons aujourd'hui, dans les herbiers et les livres, une masse considérable de documents sur ces espèces ou groupes d'espèces disjointes ; mais on a très-rarement réuni ces documents sous une forme méthodique. Je crois que ce serait un travail très-utile et très-intéressant pour de jeunes monographes que de prendre quelque grand genre ou autre groupe naturel à aire très-étendue, d'en comparer les subdivisions naturelles et géographiques depuis le sous-genre jusqu'à l'espèce et à la va-

riété; d'examiner les différentes valeurs et les diverses combinaisons que présentent les caractères individuels dans des pays différents; enfin de déterminer l'influence des conditions physiques sur l'abondance ou la rareté des individus, sur la variabilité ou la fixité des races secondaires, sur la permanence ou la disparition des irrégularités accidentelles, etc. La comparaison d'un certain nombre de ces monographies, faites à divers points de vue sur différents groupes de plantes, contribuerait sans aucun doute à dissiper une partie de l'obscurité qui règne encore sur l'histoire de la végétation.

Je dois ajouter que l'utilité pratique d'un ouvrage, comme celui où M. De Candolle a réuni des détails si nombreux et si variés, serait certainement plus grande si l'auteur ne s'était pas borné, en fait de tables, à donner celle des espèces citées. C'est une addition facile à faire dans une nouvelle édition, et l'on ne saurait à cet égard suivre de meilleur modèle que les tables si complètes insérées par sir Lyell et par Darwin dans leurs principaux ouvrages.

Après M. De Candolle, et indépendamment des grands ouvrages de Darwin dont j'ai longuement parlé dans mes discours de 1863 et 1868, c'est à M. Hooker que nous devons la première addition importante à l'étude de la géographie botanique. Son *Introduction à la Flore de Tasmanie* a paru en même temps que l'ouvrage de Darwin sur l'origine des espèces; mais il avait une connaissance générale des observations et des idées de son ami. Des principes généraux qu'il a posés dans les paragraphes 2, 3, et 4 de son livre, ont obtenu peu à peu, je crois, l'adhésion complète de la plupart des naturalistes à vues philosophiques. Il pourrait seulement y avoir aujourd'hui quelque chose à changer dans certaines propositions, ou plutôt suppositions, d'importance secondaire, et M. Hooker serait le premier sans doute à accepter ces changements; car la science a fait de grands progrès pendant les dix ans qui se sont écoulés depuis la publication de son ouvrage. Je crois, par exemple, que ce qu'il dit des rapports de la variabilité et de la fixité des espèces avec la complexité de leur structure, avec l'étendue plus ou moins grande des genres, etc., n'a pas été complétement confirmé par les

observations subséquentes. La variabilité me paraît, comme d'autres caractères constitutifs, d'abord purement individuelle ; si les circonstances extérieures en favorisent le développement, elle peut devenir plus ou moins héréditaire, et par conséquent spécifique, ensuite même générique, mais à un très-faible degré : elle peut d'ailleurs être extraordinairement développée dans tout genre qui renferme des espèces susceptibles de vivre dans des conditions propres à provoquer la variation — ce dont j'aurai à reparler tout à l'heure. M. Hooker cite les trois genres *Veronica*, *Campanula* et *Lobelia*, comme étant de ceux où les espèces sont relativement stables. Cependant les Véroniques frutescentes de la Nouvelle-Zélande, presque toutes les espèces australiennes du même genre, les *V. spicata*, *V. Teucrium* et autres formes voisines qui habitent l'Europe, les Campanules du groupe du *Campanula rotundifolia*, les *Lobelia* du sud de l'Afrique, la section *Siphocampylus* dans les *Lobelia* américains, offriraient autant de formes variées s'enchaînant d'une manière inextricable, que nos Roses et que nos *Rubus*, si on les étudiait dans le même esprit; et d'autre part nous trouvons dans ces deux derniers genres des espèces, comme le *Rosa berberifolia*, le *Rubus Chamæmorus*, etc., qui dans les conditions actuelles sont aussi distinctes et aussi invariables qu'aucune espèce de Véronique, de Campanule ou de *Lobelia*.

En traitant de la complication relative et du développement progressif des végétaux (*Intr. Essay*, p. XXIV), M. Hooker montre très-bien les incertitudes de la science et la diversité des conclusions qu'on peut tirer des mêmes faits. Cette question a été depuis lors le sujet de longues discussions. Quelques-unes des idées généralement admises ont été combattues par Hæckel, Delpina, et d'autres savants étrangers sectateurs de Darwin. En outre, sir Lyell, dans le neuvième chapitre des *Principles of Geology* (dixième édition), a donné un excellent exposé général du développement progressif des êtres, tel que nous le connaissons aujourd'hui. Je me bornerai à vous rappeler ce qui suit. — L'idée vague d'une progression graduelle semble avoir été admise par presque tous les naturalistes : — les uns, qui se déclarent dis-

ciples de Lamarck ou de Darwin, y voient en effet de la variation; les autres, partisans de l'immutabilité des êtres, admettent des créations de plus en plus parfaites, se substituant aux races éteintes. — Dans les plantes, la progression s'élève des Acotylédones les plus simples aux plus compliquées, puis aux Monocotylédones, et enfin aux Dicotylédones supérieures, c'est-à-dire aux Renonculacées suivant quelques-uns, aux Composées suivant d'autres. — Chez les animaux, elle part des *Protista* de Hæckel, s'élève aux Vers, aux Mollusques, aux Insectes et autres Invertébrés, puis aux Reptiles vertébrés, aux Poissons, aux Oiseaux, aux Mammifères, et atteint dans l'Homme son point culminant. Mais cette doctrine du développement progressif, si conforme qu'elle soit aux faits observés, ne doit être acceptée qu'avec des restrictions importantes. Il ne faut pas croire que les races actuelles de plantes ou d'animaux dont l'organisation est la plus élevée, aient passé par aucune des formes plus simples que nous voyons aujourd'hui, comme par des phases nécessaires de leur existence ; — que nos Champignons ou nos Mousses aient donné naissance à nos Monocotylédonées actuelles, ou que celles-ci à leur tour se soient jamais changées en Dicotylédonées. Au contraire, on pourrait peut-être affirmer sans crainte de se tromper, que si toute race actuellement fixée — classe, genre ou espèce bien tranchée — est une modification d'une autre (modification progressive, en comprenant le progrès dans le sens relatif et non absolu), elle dérive généralement d'une race préexistante, mais non contemporaine. M. Hooker a insisté sur ce fait que quand deux races ont divergé au point de devenir des espèces fixées, — de ne plus pouvoir se féconder réciproquement, — elles sont toutes deux tellement modifiées, que l'une ne pourra plus reproduire exactement l'autre. On ne peut donc pas dire en thèse générale que les races existantes sont le résultat de la progression d'autres races existantes qui continuent leur évolution ; mais les unes et les autres peuvent dériver de la progression d'une race antérieure. Et cette progression peut avoir été graduelle ou soudaine, très-ancienne ou relativement récente, suivant la disposition in-

dividuelle de la race. La variabilité et la variation, la progression, la dégénérescence, la durée, diffèrent énormément dans les races comme dans les individus, en conséquence des relations très-compliquées qui existent entre les conditions extérieures, physiques ou sociales, et leur constitution intérieure. L'observation conduit à admettre (quoique je ne puisse en fournir de preuve directe), qu'il se produit des variétés héréditaires bien marquées, dans les plantes sauvages aussi bien que dans les plantes cultivées ; que les unes disparaissent après quelques générations, uniquement parce que les individus ne sont pas assez nombreux pour surmonter les causes incessantes de destruction auxquelles ils sont exposés ; mais que d'autres continuent à croître en nombre et en puissance pendant un temps illimité, jusqu'à ce qu'enfin elles soient arrêtées par quelque obstacle et succombent à leur tour. Sir Ch. Lyell a fait voir que certaines races des temps primitifs sont arrivées dans le cours des âges à des dimensions gigantesques ou à un degré de développement qu'aucune race de la même classe n'atteint aujourd'hui, et qu'elles ont fini néanmoins par disparaître complétement. D'autres, au contraire, notamment parmi ces mollusques et ces insectes dont les échantillons récents et fossiles sont identiques, et parmi les plantes dont les aires sont très-disséminées ou isolées, n'ont évidemment subi aucun changement pendant les siècles innombrables qui séparent les diverses périodes géologiques. Cette différence dans la variabilité tant constitutionnelle qu'accidentelle, ne doit jamais être perdue de vue dans l'examen des causes qui ont déterminé la répartition actuelle de ce qu'on nomme régions de végétation et centres d'espèces.

Ces « régions de végétation » et ces « centres d'espèces » sont depuis longtemps un sujet d'étude pour les botanistes. L'observation la plus superficielle suffit pour montrer que chaque contrée a sa flore particulière, chaque espèce sa distribution spéciale ; et l'on a essayé maintes fois de tracer des régions botaniques naturelles, par opposition aux limites politiques qui servent habituellement de cadre aux flores des divers pays. Le travail que l'on regarde généralement comme le meilleur sur

ce sujet, est celui de Schouw, qui a paru dans le huitième volume du *Linnæa*, 1833; plusieurs essais analogues, y compris celui que j'ai publié moi-même presque en même temps que Schouw, sont cités par M. De Candolle dans le vingt-cinquième chapitre de sa *Géographie botanique*. M. De Candolle fait remarquer avec raison que les diverses flores empiétant les unes sur les autres, il en résulte un enchevêtrement si compliqué, qu'il est impossible d'assigner à ces régions des limites précises. La tentative a cependant été renouvelée dans les *Mittheilungen* de Petermann, par M. Grisebach, à qui nous devons plusieurs mémoires importants sur la géographie botanique, et notamment sur les progrès de cette science. Cet auteur divise le globe terrestre en vingt-quatre régions botaniques, basées sur l'état physique et climatologique actuel; il ne tient aucun compte des régions établies d'après l'origine et l'histoire, ou des centres de créations, comme il continue encore à les appeler; car il trouve ceux-ci beaucoup trop compliqués pour pouvoir être distribués par régions. Toutefois les régions physiques de végétation semblent être dans le même cas : comme les régions basées sur l'origine des races, elles sont souvent dispersées sans ordre dans diverses contrées, ou vaguement limitées quand elles s'étendent uniformément sur un vaste territoire, ou brusquement interrompues quand elles rencontrent un océan ou quelque autre barrière infranchissable. Les flores des régions arctique et méditerranéenne, de la mer Blanche et de la mer Noire, sont sans doute très-différentes; mais le changement est si graduel, le voyage d'Archangel à Yalta serait si monotone sous ce rapport, qu'on ne pourrait fixer à cent milles près le point où l'on quitte les glaces du Nord, où l'on franchit les limites de l'Europe, de la Sibérie ou de la région des steppes, où l'on entre enfin dans le climat tempéré du Midi. De même aussi les flores du Portugal et de la Dalmatie, ou celles du détroit du Roi George et de Moreton-bay, qui sont comprises dans une même région botanique, diffèrent évidemment plus l'une de l'autre que les flores du centre de l'Espagne et du centre de la France, ou que celle de Timor et de la côte australienne qui

lui fait face, quoique celles-ci soient placées dans des régions séparées.

On ne peut douter néanmoins qu'il n'y ait des régions de végétation, dépendantes des circonstances physiques et climatologiques, ce qui détermine surtout l'aire des espèces et des variétés, — et des régions botaniques provenant de la communauté d'origine, d'où résulte la distribution des races supérieures, groupes d'espèces ou genres. C'est par l'effet combiné de ces deux causes, partout où leur action réciproque a pu s'exercer uniformément pendant une longue période de repos géologique et à l'abri de barrières infranchissables, que tant d'espèces, de genres, ou même de familles naturelles, ont été produits graduellement ou introduits dans certaines contrées et s'y sont maintenus, tandis qu'ils n'ont jamais paru dans d'autres ou ont fini par s'y éteindre, en sorte que chaque contrée a pris un caractère botanique spécial; et ainsi se sont formées des régions réelles, extrêmement inégales sous le rapport de l'étendue, de la précision des limites, du degré de spécialisation (de la netteté du caractère), régions qu'il est d'ailleurs fort instructif d'examiner et de comparer entre elles, et qu'il faut par conséquent nommer et décrire. Nous devons admettre aussi que toute race descend probablement d'un seul individu ou d'un couple d'individus, et par conséquent qu'elle a pris naissance sur un point unique; mais il ne faut pas oublier non plus qu'elle a pu se répandre au loin pendant de longues années ou de longs siècles avant de devenir enfin différente — peut-être dans des conditions et des contrées autres que celles où elle était née : — c'est donc une pure illusion que d'imaginer des centres généraux de création d'où la flore entière d'une région serait sortie peu à peu.

Nous n'avons jusqu'ici aucune espèce de documents sur l'origine première de la végétation, celle des grandes races de plantes; aussi ne dirai-je rien des tentatives qu'on a faites pour en tracer l'histoire hypothétique. Mais si nous prenons pour point de départ quelque ancienne période, telle que celle de la craie supérieure (où les classes et les familles principales du monde

végétal actuel sont, d'après sir Ch. Lyell, pleinement représentées), nous pourrons, en combinant les recherches géologiques et biologiques, jeter beaucoup de lumière sur le lieu d'origine, l'âge relatif et les migrations d'un grand nombre de races secondaires, groupes d'espèces, espèces ou variétés. Si la plupart des types généraux ou races principales (classes et familles) étaient les mêmes que ceux de nos jours, il en existait pourtant alors quelques-uns qui sont éteints maintenant; et d'autres, qui existent aujourd'hui n'étaient peut-être pas encore formés à cette époque. A mesure que nous descendons aux groupes inférieurs (genres), nous trouvons les races éteintes et celles de formation nouvelle plus nombreuses proportionnellement à celles qui ont persisté; et quand nous arrivons jusqu'aux espèces et aux variétés, nous voyons presque toutes les formes anciennes remplacées par des formes nouvelles, quoiqu'il puisse y avoir quelques espèces, même en prenant ce mot dans son sens le plus étroit, dont l'identité se soit maintenue. Depuis cette époque jusqu'aujourd'hui, les races ont généralement continué à varier sans cesse, pour le nombre et la distribution géographique comme pour le caractère et la constitution : cette variation s'accomplit suivant des lois qui sont probablement constantes, mais que leur complication rend très-difficiles à découvrir, et que nous sommes souvent obligés de désigner comme de simples hasards. Quelques races, douées d'une grande puissance de multiplication, soit par graines, soit par bourgeons, soit par ces deux moyens à la fois, ont pu naître ou être apportées dans une région qui leur était particulièrement favorable; ou bien elles avaient, parmi d'autres qualités constitutionnelles, la faculté de s'adapter à des conditions très-diverses, tant physiques que sociales. Celles-là doivent s'étendre plus ou moins rapidement sur de vastes espaces, se mêler aux races préexistantes ou les remplacer, et se maintenir en nombre immense pendant des années, des siècles ou de longues périodes géologiques, jusqu'à ce qu'il survienne quelque légère modification physique, que leur nourriture préférée devienne moins abondante, qu'il se fasse quelque autre changement dans les circonstances extérieures, peut-être même que leur con-

stitution propre subisse un affaiblissement. Dès lors l'équilibre sera dérangé, leurs progrès dans la lutte générale seront arrêtés ; elles devront succomber plus ou moins complétement devant de nouveaux compétiteurs, se réfugier sur des points isolés où elles trouveront quelque protection spéciale contre leurs ennemis, ou enfin disparaître entièrement de la scène. D'autres races, qui ne se multiplient que lentement, ou qui ont besoin de conditions extérieures toutes spéciales, mais chez lesquelles la vitalité individuelle est très-tenace, peuvent, si elles sont placées dans un pays accidenté, où elles trouvent plus d'abri et des ennemis moins nombreux, se perpétuer indéfiniment par quelques individus sur des points isolés, sans changement dans leur station, sans modification dans leurs caractères. Les jeunes races luttent ainsi contre les vieilles, les unes par leur multiplication rapide, les autres par leur résistance individuelle, et c'est le succès plus ou moins grand de cette double lutte qui détermine l'aire plus ou moins étendue des espèces et des variétés, qui imprime à la végétation d'une contrée un caractère varié et local, ou lui donne au contraire un aspect uniforme et cosmopolite.

Les races qui se propagent lentement, mais dont les individus durent longtemps, pourront le mieux se conserver dans un pays accidenté, où les aires sont petites et séparées par des obstacles insurmontables. Je ferai remarquer cependant que, même sur un territoire vaste et uniforme, quelques-unes d'entre elles pourront probablement se maintenir parmi les races à multiplication rapide, peut-être même leur survivre, et nous transmettre ainsi, dans leurs stations primitives ou dans le voisinage, quelques restes épars d'une végétation détruite partout ailleurs. C'est surtout d'après ces considérations que je serais porté à regarder les contrées qui renferment beaucoup d'espèces locales très-différentes, non pas comme des centres de création, mais plutôt comme des aires de conservation ; car la longue durée de circonstances physiques à peu près semblables aux circonstances actuelles, a pu, tout aussi bien que l'isolement, leur donner ce caractère. L'isolement peut contribuer beaucoup à fixer une race, mais ce n'est pas un élément indispensable, et

il pourrait n'avoir qu'une importance secondaire pour la maintenir quand elle est fixée.

Divers zoologistes modernes ont proposé de répartir les races qui habitent le globe en trois à cinq types géographiques ; mais les botanistes ne semblent pas avoir fait usage, jusqu'ici, de cette division, sauf quelques indications générales données par M. Hooker et d'autres. A cet égard, on arrivera probablement à reconnaître que les grandes régions botaniques et zoologiques concordent dans leur disposition générale, en tenant compte toutefois de ce que les végétaux sont d'origine plus ancienne et se répandent plus facilement que les animaux supérieurs. Je proposerai la division suivante : — Un type septentrional, caractérisé par ses Conifères à feuilles aciculaires (*Nadelholz*), les Amentacées, Renonculacées, Crucifères, Trifoliées et autres races herbacées, répandu aujourd'hui sur l'Europe, le nord et le centre de l'Asie, et une partie de l'Amérique du Nord, a été très-anciennement séparé en deux par l'irruption de l'océan Pacifique septentrional et le soulèvement des montagnes Rocheuses. — Un type tropical, à Polypétales arborescentes et à Monocotylédonées gigantesques, séparé plus anciennement encore entre l'Asie et l'Amérique. — Enfin, un type austral, dont l'unité primitive est indiquée par les Restiacées, Protéacées, Éricacées, Papilionacées à feuilles simples, Diosmées, etc., mais qui est devenu depuis longtemps hétérogène, tant par la grande dissemblance des races secondaires issues de ces races supérieures que par la prédominance exclusive en Australie des Myrtacées et de plusieurs autres groupes moins importants. Ces trois types paraissent concorder plus ou moins exactement avec les divisions nord et sud de M. Huxley, est et ouest de M. Sclater, et avec les trois faunes primaires de M. Gabriel Koch.

Dans le type septentrional, il semble qu'on trouve l'indice d'une ancienne continuité de la végétation, qui se modifiait graduellement du nord-est de l'Amérique au nord-est de l'Asie, à peu près comme celle qui s'étend aujourd'hui de l'est de l'Asie à l'ouest de l'Europe. Après la séparation des deux conti-

nents que j'ai mentionnée plus haut, la divergence des flores primitivement identiques, divergence que l'éloignement seul suffirait à produire même sans la disjonction, a été encore accrue par l'isolement. Quelques races américaines se sont maintenues en Asie, notamment dans le Japon, la Mandchourie, l'Himalaya, et, comme le *Phryma*, ont conservé une identité complète ; d'autres, en plus grand nombre, se sont légèrement modifiées, de manière à produire ces variétés géographiques ou espèces correspondantes, si bien étudiées par M. Asa Gray. Des races d'un ordre plus élevé, des genres comme l'*Astragalus*, se sont multipliés abondamment sur les deux continents : leurs espèces boréales et alpines ont gardé une certaine ressemblance ; mais la divergence est plus marquée dans celles qui habitent des contrées plus chaudes, probablement parce que leurs aires ont été plus longtemps disjointes, ou qu'elles ont été dispersées dans les deux hémisphères indépendamment les unes des autres sans avoir de communication ultérieure. D'autres genres, comme les *Eupatorium*, *Aster*, *Phlox*, *Solanum*, etc., largement représentés en Amérique, ont transmis ou produit dans l'est de l'Asie un petit nombre d'espèces qui diminuent de plus en plus à mesure qu'on se dirige vers l'ouest, et finissent par disparaître ; quelques-unes seulement, peu différentes de celles d'Amérique, atteignent l'Europe occidentale. D'autre part les genres européens-asiatiques, nos Crucifères, Caryophyllées, Lotées, Ombellifères, etc., qui se sont tant multipliées de ce côté de l'océan Pacifique, paraissent n'avoir laissé que peu de représentants en Amérique, et ceux-ci sont beaucoup plus profondément modifiés que les races américaines qu'on retrouve en Asie. Mais cette partie du sujet réclamerait une étude beaucoup plus détaillée pour qu'on pût arriver à des conclusions certaines.

D'où est sortie la principale portion de cette grande flore septentrionale ? Est-ce de la Scandinavie, du nord de l'Asie ou du Caucase ? Nous n'avons presque aucune donnée pour résoudre cette question. Seulement, comme le remarque M. Hooker, il est probable que cette flore est une des plus anciennes et de

celles qui ont le plus d'extension ; car elle a parcouru à diverses époques une grande partie du globe. Les observations de M. Lesquereux (citées par A. Gray), de même que les recherches récentes de M. Oswald Heer et de quelques autres, prouvent qu'elle remontait fort loin au nord pendant la période de chaleur qui a précédé l'époque glaciaire ; elle a dû être ramenée lentement vers le sud quand l'époque glaciaire est survenue ; et alors, ou dans une ou plusieurs autres périodes, elle a dû pour quelque temps s'étendre sans interruption, sur deux lignes au moins, jusque dans l'hémisphère austral ; car les traces qu'elle a laissées, surtout dans les plantes herbacées et celles des montagnes, sont encore reconnaissables dans les montagnes de l'Asie tropicale, au moins jusqu'à la péninsule indienne ; — à l'ouest, dans les montagnes d'Abyssinie et les monts Cameroon, sur le continent africain ; — le long des Andes jusqu'à l'extrémité sud de l'Amérique, où cette flore est encore luxuriante ; — et enfin, mais à un moindre degré, dans la Nouvelle-Zélande, la Tasmanie et la province de Victoria. Dans ces diverses migrations, tout en conservant une ressemblance générale, la flore dut subir des changements continuels, perdant d'une part les espèces et autres races dont l'aire et les moyens de multiplication étaient limités, quand les conditions d'habitation ne leur convenaient plus, et d'autre part formant peu à peu des races nouvelles, quand un isolement longtemps prolongé ou d'autres circonstances nécessaires en favorisaient la production.

Outre la grande dispersion de cette flore à l'est et à l'ouest de l'océan Pacifique, la longue durée des mêmes conditions physiques et climatologiques, agissant de concert avec des causes génératrices, a donné naissance à trois types secondaires distincts : — celui de la région froide, ou alpin-arctique ; celui de la région chaude, ou méditerranéo-caucasien, et celui de la région intermédiaire ou tempérée. Les deux premiers comprennent un grand nombre d'espèces dont les individus se maintiennent avec persistance dans des localités restreintes, et dont les stations actuelles sont évidemment très-anciennes. Le troisième type a une flore beaucoup plus uniforme et plus étendue, qui,

dans beaucoup d'endroits, est d'origine relativement récente, ou, comme on dit, dérivée.

Le type alpin-arctique est le plus remarquable des trois par sa grande étendue et sa dispersion. Il a été, dans ces derniers temps, le sujet de plusieurs travaux, parmi lesquels je citerai l'*Essai* de M. Hooker *sur la flore Arctique*, comme le plus important par l'étude approfondie des détails et les conclusions générales que l'auteur en déduit. Depuis la publication de ce mémoire dans le vingt-troisième volume de nos *Transactions* (1860), on n'y a rien ajouté d'essentiel en ce qui concerne la région arctique proprement dite, la seule où la flore présente encore un certain degré de continuité. Ici encore nous voyons clairement, par l'exemple du Groenland, les effets remarquables que l'isolement amène; car cette contrée, qui avait perdu tant d'espèces durant la période glaciaire, n'en a presque pas regagné depuis que les glaces se sont retirées.

Un autre mémoire important sur la distribution des plantes alpines de la grande chaîne des montagnes européennes, depuis les Carpathes jusqu'aux Pyrénées, a été publié en 1865 par le docteur H. Christ, de Bâle, dans le vingt et unième volume des *Neue Denkschriften*, ou *Nouveaux Mémoires de la Société Helvétique des sciences naturelles*. L'auteur a dressé un tableau de 693 espèces alpines (c'est-à-dire d'espèces qui sont surtout abondantes au-dessus de la région boisée, définition qu'il n'a pas toujours strictement observée), et les a rangées sur vingt-huit colonnes, où il indique leur présence ou leur absence dans les Alpes orientales, centrales et occidentales, et dans huit régions boréales de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique, six de l'Asie centrale, cinq du centre et de l'ouest, et six méditerranéo-caspiennes. Les diverses considérations générales qui résultent de ce tableau sont exposées dans la préface. M. Christ rend pleine justice au mérite du travail de M. Hooker, et suit son exemple sur quelques points. En général il prend l'espèce dans un sens plus restreint que M. Hooker; mais, dans des tableaux de cette nature, la distribution géographique de variétés distinctes ou de races du dernier ordre qui sont suffisamment fixées, est aussi instructive

à certains égards que celle des races supérieures, pourvu qu'il y ait quelque uniformité dans leur appréciation. Relevant l'assertion de M. Hooker que « la flore Arctique considérée dans son ensemble est décidément Scandinavienne, » il condamne cette appellation donnée à la flore entière, et reproche à M. Hooker d'avoir circonscrit ses recherches dans des limites arbitraires, qui ne permettent pas d'établir une comparaison directe entre les deux tableaux, — celui de M. Hooker et le sien. Mais M. Christ s'occupe d'une région dont le principal intérêt consiste dans la précision relative de sa circonscription actuelle, jointe à l'isolement de quelques-unes de ses parties, et il n'avait qu'à en chercher les limites naturelles. M. Hooker, au contraire, dont un des buts était d'exposer les résultats des voyages aux terres Arctiques, embrasse une région qui est surtout instructive par sa continuité relative, son uniformité et la connexion qu'elle a encore avec d'autres régions plus variées. N'étant point limité par des frontières physiques ou climatologiques, soit en Europe, soit en Asie, soit en Amérique, il ne pouvait tracer qu'une ligne de démarcation arbitraire. Dans ces conditions, comme la Scandinavie lui offrait le plus grand nombre des espèces qui paraissent avoir vécu le plus longtemps dans leurs stations actuelles, il l'a choisie comme le meilleur type de la flore générale. D'après les anciennes règles, on l'aurait regardée comme le centre de création des terres Arctiques : aujourd'hui on peut la désigner comme le principal centre de conservation dans les limites du cercle polaire, ce qui est dû peut-être en partie à la structure accidentée du pays, en partie à son climat plus chaud ; car cette dernière circonstance, tout en permettant la croissance de plantes que M. Christ refuse d'admettre dans la flore Arctique, a conservé pendant la période glaciaire certaines espèces des pays froids qui étaient chassées ou détruites partout ailleurs.

M. Christ mentionne les traces d'une ancienne communication alpine entre les Pyrénées et la Scandinavie, différente de celle qui réunissait précédemment les contrées septentrionales et les Alpes. J'en avais parlé moi-même dans un mémoire sur la distribution géographique des plantes de la Grande-Bretagne, mé-

moire dont je vous ai donné lecture dans l'hiver de 1858 à 1859, mais que j'ai supprimé plus tard à la suite de la publication du livre de Darwin sur l'*Origine des espèces*. Beaucoup de faits me semblaient montrer que les trois chaînes des Pyrénées, des Alpes et de l'Himalaya ont été reliées chacune séparément aux contrées septentrionales, tandis que leur végétation alpine n'offre guère d'indices de communications latérales, et cette végétation paraît plus isolée encore dans les montagnes d'Auvergne et dans le Caucase, qui sont situées entre les trois grandes chaînes précédentes. Quant à cette portion de la flore des contrées septentrionales froides qui se retrouve en Afrique, la question de savoir si elle vient de l'Europe occidentale ou de l'Asie sera peut-être plus facile à résoudre quand on connaîtra la végétation de la partie de l'Atlas qui traverse le Maroc.

M. Charles Martins a comparé la flore d'une petite portion de la région Arctique, le Spitzberg, avec celle de quelques points complétement isolés, appartenant à la haute région alpine des Alpes et des Pyrénées. Ce mémoire intéressant, qui a pour titre « La végétation du Spitzberg comparée à celle des Alpes et des Pyrénées », a été publié dans le sixième volume des *Mémoires de l'Académie des sciences de Montpellier*, 1865.

L'histoire et les rapports de la flore Scandinavienne avec celle de la région septentrionale, considérée dans son ensemble, ont été traités par M. Areschoug, dans un mémoire détaillé qui a paru dans les *Transactions de l'université de Lund* pour 1866, et par N. J. Andersson, dans un *Essai sur la végétation de la Suède*. Je ne connais pas le travail original de ce dernier, mais la plus grande partie en est traduite dans le septième volume des *Annales des sciences naturelles*, 5e série. La conclusion de M. Areschoug, à laquelle se rallie M. Andersson, est celle-ci : La flore Arctique, qui prédominait dans la péninsule Suédoise vers la fin de la période glaciaire, s'est retirée peu à peu dans la partie septentrionale et alpine de la Scandinavie, et continue même à se retirer encore; la flore actuelle du centre et du sud de la Scandinavie se compose en majeure partie de plantes de l'est et du

nord-est, qui se sont répandues en Europe après la période glaciaire, avant l'invasion du Hêtre en Suède, et auxquelles sont venues se joindre des espèces plus méridionales, arrivées plus tard avec le Hêtre par le Danemark.

Ces questions générales ont été traitées plus ou moins explicitement dans de nombreuses dissertations sur l'aire géographique de plantes appartenant à des portions moins étendues de la grande flore septentrionale. M. Grisebach a donné un bon résumé de plusieurs de ces travaux dans le *Gotha geographische Handbuch*, volume de 1868. Cet auteur toutefois paraît croire encore à des centres de création (ou de formation graduelle) indiqués par les espèces locales, d'où la flore d'une région serait sortie ; il veut bien admettre que les espèces disjointes sont la preuve d'une aire autrefois plus étendue ou d'anciennes communications, mais seulement lorsque ces espèces sont parfaitement identiques ; quant aux espèces correspondantes, c'est-à-dire celles qui, croissant dans des lieux éloignés, sont très-voisines par leurs caractères, il les met tout à fait hors de question, leur ressemblance étant due, selon lui, à la similitude des conditions physiques et climatologiques.

Ces espèces correspondantes, ces races d'un ordre plus élevé que l'espèce prise dans le sens restreint du mot, qui ont des représentants dans deux pays éloignés et sont séparées par un intervalle immense, nous fournissent des enseignements que M. Asa Gray a mis admirablement en lumière dans un remarquable mémoire *Sur la flore du Japon* (*Memoirs of the American Academy of Arts and Science*, vol. VI, new ser.). Ce mémoire était terminé et a même, je crois, été publié avant que M. Darwin eût fait paraître son livre sur l'*Origine des espèces ;* mais l'auteur connaissait, au moins d'une manière générale, les idées de M. Darwin par l'esquisse préliminaire que celui-ci en a donnée dans notre Journal (*Zoologie*, tome III) et que M. Asa Gray cite à la page 443. Aucun document nouveau n'est venu, que je sache, infirmer ses conclusions sur l'origine et les phases de la connexion dont j'ai parlé plus haut entre le Japon et le nord-est de l'Amérique, d'une part, le Japon et l'Asie, d'autre part.

M. Miquel, après avoir terminé ses *Prolusiones Floræ japonicæ*, a publié deux mémoires (dans les *Verslagen en Mededeelingen* de l'Académie royale des sciences d'Amsterdam pour 1866, et dans les *Archives Néerlandaises* de 1867) sur les rapports de la flore japonaise avec celles d'autres pays. Des recherches postérieures au travail de M. Asa Gray lui ont permis d'étendre la liste des plantes du Japon qui se retrouvent sur le continent asiatique; mais il n'apprécie pas à sa juste valeur leur connexion avec celle du nord-est de l'Amérique, parce qu'il laisse de côté toutes les espèces qui ne sont pas absolument identiques. Il cite comme des espèces dont l'habitation est séparée par un grand intervalle, le Hêtre et le Châtaignier, qu'on trouve au Japon et dans l'Asie occidentale ou en Europe; il énumère en outre quelques autres espèces disjointes, qui croissent au Japon et dans les pays situés à l'ouest de l'Oural. Ces dernières toutefois sont des plantes qui pourraient avoir été introduites récemment au Japon ; et quant au Hêtre et au Châtaignier, ils ont certainement, dans les parties tempérées et méridionales de l'Europe, un caractère plutôt oriental qu'occidental. Il y n'a rien, d'ailleurs, dans le mémoire de M. Miquel, qui contredise l'idée suggérée par M. A. Gray (idée qui s'était aussi présentée à mon esprit, mais qui n'est encore appuyée que sur des observations très-insuffisantes), que les migrations des races végétales tendent généralement à se faire de l'est à l'ouest, plutôt que de l'ouest à l'est. M. Grisebach exprime une opinion analogue dans son mémoire sur les régions de végétation, que j'ai cité plus haut (*Petermann's M ttheilungen*). Peut-être pourrait-on rattacher ce fait à la rotation du globe sur son axe, dont M. von Baer admet l'influence, à ce que m'a dit le docteur Hooker, sur la direction des fleuves de Sibérie.

Un fait qui ressort des mémoires de M. Miquel, c'est que le Japon, avec son climat si varié, qui s'étend sur plus de 13 degrés de latitude, sa structure accidentée, son ancienneté probable, doit être regardé, d'après les nombreuses espèces locales qu'il renferme, comme un grand centre de conservation pour les espèces de la grande flore septentrionale, et aussi pour une

portion de la flore tropicale de l'Asie. On retrouve un autre grand centre de conservation de la flore septentrionale dans plusieurs parties de la région méditerranéo-caspienne, notamment sur le revers méridional des Alpes, dans les âpres montagnes du sud du Caucase, etc.

La géographie des deux grandes branches de la flore tropicale, la branche asiatique (renfermée entre le nord-est de l'Australie, l'Himalaya et le Japon) et la branche américaine, présente le plus grand intérêt ; mais elle n'a pas encore été traitée à un point de vue général. Nous avons beaucoup de matériaux dans nos herbiers ; mais il nous manque une flore complète d'un pays tropical de quelque étendue. M. Miquel a publié celle de l'Inde hollandaise ; malheureusement, le vague et l'irrégularité qu'il apporte dans l'appréciation critique des espèces, dans l'admission des unes et l'exclusion des autres, ne permettent guère d'en tirer parti pour la géographie botanique. L'excellent catalogue des plantes de Ceylan par M. Thwaites ne comprend qu'une région isolée ; et ce qui serait surtout intéressant, ce serait la comparaison de cette végétation si riche avec celle d'autres parties de l'Asie tropicale, dont la flore n'est pas encore faite. Martius a terminé à peine la moitié de sa grande *Flore du Brésil*, et les premières parties de cet ouvrage ont déjà plus de vingt ans de date ; en outre, les divers auteurs qui y ont travaillé avaient des idées très-différentes sur la valeur des espèces. Il faudrait donc faire un immense travail de détail pour établir une comparaison générale entre la végétation tropicale de l'Asie et celle de l'Amérique. D'après ce que nous savons toutefois, la ressemblance entre les deux flores ne se montre que dans quelques-unes des races supérieures, familles naturelles et grands genres ; les genres peu étendus et les espèces, plusieurs même des groupes supérieurs, sont complétement différents : ou, si l'on trouve un petit nombre d'espèces identiques, les unes, de structure ligneuse ou arborescente, comme les *Entada*, *Gyrocarpus*, etc., sont en général des plantes plus ou moins maritimes, qui peuvent avoir traversé l'Océan depuis qu'il a pris sa configuration actuelle ; les autres sont de mauvaises herbes extrêmement répandues, qui

ont pu se disséminer plus facilement encore, dans les conditions présentes, sur toute l'étendue de la zone tropicale.

Ce qu'il y a de plus embarrassant dans la végétation tropicale, c'est celle de l'Afrique, qui semble être très-ancienne et avoir conservé beaucoup d'espèces dont les individus se maintiennent avec persistance : ces espèces forment des chaînons intermédiaires entre des races qui ont divergé au loin en Asie ou en Amérique. A mesure que la végétation de l'Afrique tropicale a été mieux connue, on y a découvert un plus grand nombre de types asiatiques; mais cependant il existe, même dans l'intérieur, un certain nombre de types américains, dont la présence est un problème qui n'a pas encore été résolu, et qui ne le sera probablement pas avant l'achèvement de l'importante Flore publiée en ce moment par M. Olivier et d'autres savants.

Les flores des contrées froides ou tempérées de l'hémisphère sud et leur connexion géographique ont été étudiées d'une manière beaucoup plus complète, principalement par M. Hooker dans ses trois grandes Flores australes et dans les *Introductory Essays* qui y sont joints. Nous avons aussi de nombreux matériaux à consulter dans le *Flora Capensis* de Harvey et Sonder (ouvrage très-avancé, quoique encore incomplet), et dans le *Chloris Andina* de M. Weddell. Les principaux types que présente cette végétation peuvent être classés de la manière suivante :

1° Une flore des Andes, renfermant quelques membres du grand type septentrional, mais ayant un plus grand nombre de genres qui lui sont propres, tels que les *Fuchsia*, *Gaultheria*, *Calceolaria*, *Ourisia*, et beaucoup d'autres. S'étendant plus ou moins sur toute la longueur de la chaîne, elle offre actuellement une courte interruption produite par la dépression de l'Amérique centrale ; elle envoie quelques espèces fort loin au nord dans l'Amérique occidentale, et des ramifications peu nombreuses pénètrent même dans l'est de l'Asie ; à son extrémité sud, elle traverse l'Océan jusqu'à la Nouvelle-Zélande, et on la retrouve encore, mais représentée par un plus petit nombre d'espèces, dans la Tasmanie et les montagnes de Victoria.

2° Une flore de régions moins froides, mais également extra-tropicale, peu nombreuse en espèces, mais souvent représentée à de grandes distances par des espèces très-analogues appartenant à de petits genres distincts. Elle se retrouve au Mexique, en Californie, dans la république Argentine, dans le sud de l'Afrique et en Australie. Il y a plus d'espèces analogues dans le nord du Mexique et la république Argentine, ou dans la république Argentine et le sud de l'Afrique ou l'Australie, qu'il n'y en a dans ces deux dernières contrées.

3° La flore bien connue de l'Australie. Elle est presque locale, n'a que de faibles rapports avec celle de la Nouvelle-Zélande, et offre quelques traces d'anciennes ramifications qui se prolongeaient au nord, dans certaines parties de l'archipel Indien : un très-petit nombre d'espèces, peut-être d'introduction récente, s'avancent jusque dans la Chine et le Japon.

4° La flore du sud de l'Afrique, extrêmement variée dans ses étroites limites et peut-être la plus riche connue, en proportion de son étendue. Plusieurs des genres caractéristiques, renfermant des centaines d'espèces, qui habitent le sud-ouest, disparaissent entièrement ou presque entièrement à Port-Natal, sur la côte orientale, et n'atteignent pas le tropique au nord-ouest. Elle n'a aussi que de très-faibles rapports avec d'autres flores : l'analogie éloignée qu'elle présente avec celle d'Australie se borne aux familles naturelles et autres races d'un ordre très-élevé, et elle est représentée par un petit nombre d'espèces isolées dans l'Amérique du Sud extratropicale. Il n'y a qu'une flore dont elle soit voisine, et j'entends voisine au point de vue de la communauté d'origine, car la distance géographique est très-grande : on la voit, en effet, reparaître dans quelques plantes de cette flore remarquable qui caractérise l'extrême ouest de l'Afrique septentrionale et de l'Europe, depuis les Canaries jusqu'à l'Irlande. Certaines espèces d'*Erica*, *Genista*, *Lobelia*, *Gladiolus*, etc., de l'ouest de l'Europe, ont plus de rapport avec des espèces correspondantes du Cap qu'elles n'en ont entre elles; et beaucoup de races d'un ordre plus élevé, c'est-à-dire de groupes d'espèces et de genres, sont évidemment dérivées de types qui ne

sont plus représentés aujourd'hui que dans le sud de l'Afrique. Cette flore détachée ne s'étend guère que sur la partie ouest de la péninsule espagnole, l'extrême ouest de la France, notre comté de Cornouailles et la côte ouest de l'Irlande ; il n'y a presque aucune espèce qui franchisse le Rhône ou le Rhin, ou qui, dépassant la Grande-Bretagne, atteigne la Scandinavie ; un petit nombre cependant, dont la mer a favorisé la dispersion, a pu se répandre autour de la Méditerranée.

Cette esquisse suffit pour montrer combien il reste encore à faire aux botanistes avant que l'histoire des plantes vivantes puisse être d'un secours réel aux géologues pour élucider l'histoire physique du globe. Aussi je pense que, non-seulement l'auteur d'une monographie, mais celui d'une flore locale, de quelque étendue qu'elle soit, s'il veut donner une valeur réelle à son ouvrage, ne doit jamais négliger la distribution générale des genres et des espèces dont il parle. Je me rappelle fort bien l'intérêt qu'eut jadis pour moi la première flore où je trouvai ces détails, l'*Énumération des plantes des îles Baléares* par Cambessèdes, publiée en 1827. Tous ceux, d'ailleurs, qui connaissent les Flores et les listes de plantes de M. J. D. Hooker, ont dû remarquer combien leur importance est accrue par le soin que l'auteur met toujours à indiquer la distribution géographique.

Les considérations précédentes ne s'appliquent qu'aux plantes phanérogames, et aux Cryptogames supérieures terrestres ou d'eau douce. La distribution des Cryptogames inférieures, ainsi que celle des plantes marines en général, est plus compliquée et peut-être moins instructive, à cause de l'extrême facilité avec laquelle beaucoup d'entre elles peuvent se répandre promptement sur un très-vaste espace. Il n'a d'ailleurs été écrit que fort peu de chose, à ma connaissance, sur ce sujet.

La distribution géographique des Insectes n'a été l'objet d'aucun travail général. Peut-être la matière est-elle trop vaste pour être traitée en entier dans l'état actuel de la science. Parmi les entomologistes, les uns sont encore occupés de distinguer les formes, qui sont bien plus variées même que celles des plantes ; aussi ont-ils dû se partager entre l'étude des Lépidoptères,

Diptères, Coléoptères et autres classes : les autres se livrent à de difficiles mais instructives recherches sur la structure anatomique, étude que les Allemands honorent spécialement du nom d'Entomologie scientifique. Cependant la distribution géographique des Insectes, basée sur l'histoire de leur vie, sur l'histoire de la race comme sur celle de l'individu, n'offrirait pas moins d'intérêt, et demanderait à être traitée à un point de vue général pour la classe entière, séparément pour les races de différents degrés : en distribuant celles-ci d'après leurs migrations et leurs colonies locales, on formerait des groupes qui, dans bien des cas, devraient, comme il arrive dans les plantes, confirmer ou contredire le classement établi sur la structure, mais qui, dans d'autres cas, pourraient donner lieu à des combinaisons différentes. En général, les insectes, de même que les plantes, abandonnent leur progéniture en nombre immense et dans un état quiescent, sous la forme d'œufs qui peuvent être transportés au loin, éclore et se développer sans aucun soin de la part des parents. Mais les Insectes ont l'avantage de pouvoir se déplacer pour chercher leur nourriture, et choisir l'endroit où ils déposeront leurs œufs. On serait donc porté à croire que l'aire des espèces doit éprouver des changements plus fréquents que cela n'arrive dans les plantes. Cependant la faculté de déplacement est contre-balancée chez les Insectes par l'étroite dépendance où ils sont des circonstances extérieures et locales. M. Dallas, à qui je dois l'indication des ouvrages de zoologie relatifs à ce sujet, m'a remis entre autres un mémoire du docteur L. Möller, de Mulhausen, intitulé : *Die Abhängigkeit der Insecten von ihrer Umgebung*, 1867. L'auteur, à la suite de longues et attentives observations sur les Insectes de son proche voisinage, donne un aperçu intéressant des conditions dont ils dépendent, et qui sont : 1° le climat, 2° le sol, 3° les plantes, 4° les animaux, 5° l'homme et les ouvrages de l'homme. De ces diverses conditions les plantes sont peut-être la plus importante, parce que les Insectes en font leur principale nourriture. Pour eux, comme pour les autres animaux, c'est surtout l'abondance de nourriture qui règle le choix de l'habitation, et le besoin d'en chercher

qui détermine les migrations : mais il y en a relativement peu qui, comme les Sauterelles dans la période de leur vie où elles mangent, entreprennent des voyages pour trouver des provisions nouvelles, quand elles ont épuisé celles de leurs environs. En général, ce n'est pas la nourriture de l'animal arrivé à son état parfait, pouvant se déplacer aisément, c'est plutôt celle de la larve stationnaire, habitant souvent un milieu très-différent, qui détermine la place où l'Insecte déposera ses œufs ; et c'est pour cela aussi probablement qu'au lieu de chercher des localités nouvelles et inconnues, il préfère le lieu d'où il est sorti lui-même. La mouche Tsétsé d'Afrique, les Moustiques des grands fleuves d'Amérique n'osent pas poursuivre les animaux au delà des lieux favorables à l'éclosion de leurs larves, du moins tant que l'œuvre de la reproduction n'est pas achevée.

Les races d'Insectes sembleraient donc, presque autant que les races végétales, attachées à des localités particulières, indépendamment des causes extérieures qui tendent à les disperser presque autant que les plantes. Leur ancienneté aussi, d'après quelques auteurs, ne serait pas moins grande ; et nous devons par conséquent nous attendre à trouver beaucoup de ressemblance dans les deux classes, dans leur dispersion graduelle, dans l'effet que l'isolement géographique a exercé sur la fixation des formes nouvelles, et enfin dans les aires générales de distribution. Il paraît cependant y avoir un petit nombre de différences assez marquées. Les principaux ouvrages que j'ai consultés à ce sujet sont les suivants.

M. Moritz Wagner a publié un Essai sur la loi de migration des êtres organisés, *Die Darwinische Theorie und das Migrationsgesetz der Organismen*, qu'il donne comme le résultat d'études sur la vie organique faites dans diverses parties du monde, principalement en Algérie et dans l'Amérique centrale. Mais cet ouvrage me semble renfermer trop de propositions générales absolues, eu égard au nombre des faits cités à l'appui ; et de plus l'auteur ne discute jamais les observations contraires, comme M. Darwin a toujours soin de le faire. Son axiome principal est que la loi de migration est une nécessité pour toutes les

races d'êtres organisés, et que la migration, avec l'isolement qui en résulte, est non-seulement un élément important pour la formation de nouvelles races, mais une condition indispensable, sans laquelle la sélection naturelle ne peut agir. M. Wagner paraît avoir été conduit à cette idée par une application théorique des vues de Darwin à ses propres observations. Il avait remarqué qu'en Algérie les aires des races d'Insectes sont strictement limitées par les grandes rivières, et qu'au delà de ces barrières infranchissables, les races sont représentées par d'autres, très-voisines, mais distinctes. Rapprochant ce fait de l'isolement remarquable des races de plantes et d'Insectes qu'il avait observées sur les pics détachés de l'Amérique centrale et de la Colombie, s'appuyant en outre sur quelques données tirées des ouvrages ou de la correspondance d'autres naturalistes, il pose cette conclusion générale que les races, soit d'Insectes, soit de plantes, séparées par des barrières insurmontables, sont toujours distinctes, et qu'elles diffèrent d'autant plus que la distance qui les sépare est plus grande. Mais les faits cités ne sont assurément ni assez probants ni assez nombreux pour autoriser une conclusion si absolue; et certes, en ce qui concerne les plantes, je ne puis dire qu'elle soit confirmée par l'observation. M. Wagner donne aussi comme règle générale que les variétés nouvellement formées ne sauraient produire des races nouvelles, si elles ne sont pas séparées pendant longtemps des espèces d'où elles dérivent; la sélection naturelle n'aurait pas lieu en ce cas; la fécondation réciproque, s'exerçant librement, maintiendrait l'uniformité générale dans tous les individus de l'espèce. Que ceci puisse être le cas le plus ordinaire, c'est ce qu'ont fort bien montré MM. Darwin, Hooker et d'autres; mais il est difficile d'admettre que ce soit une règle absolue. M. Bates, en parlant des Lépidoptères de l'Amazone, fait la remarque que, chez certaines races, toutes les variétés paraissent s'accoupler indifféremment; mais que dans les *Ithomia*, par exemple, on ne voit jamais d'accouplement qu'entre des individus exactement semblables. D'autre part, M. L. Möller a observé que chaque Insecte ne visite que les fleurs de certaines espèces; or, la qualité qui détermine leur choix

pourrait tout aussi bien être de celles qui, pour nous, caractérisent une simple variété, que de celles qui indiquent une espèce bien fixée. Supposons que la fécondation réciproque entre individus d'une même variété soit un peu plus fréquente, plus prolifique, ou produisant une postérité plus nombreuse, enfin qu'elle soit mieux appropriée aux circonstances présentes que la fécondation entre individus appartenant à deux variétés différentes ; en ce cas la première variété devra graduellement (d'après la loi de sélection naturelle) devenir de plus en plus fixe, malgré des croisements accidentels avec les autres, et celles-ci, par la même raison, deviendront graduellement de plus en plus rares. Il semble fort probable que certaines variétés très-légères, comme les *Anagallis* à fleurs rouges et à fleurs bleues, les variétés roses et bleues des Véroniques, beaucoup de nos Roses et de nos *Rubus*, perdent peu à peu la faculté de se féconder réciproquement, et tendent à devenir des espèces, quoiqu'elles vivent entremêlées, et qu'elles aient toujours vécu de même, selon toute apparence, depuis leur origine (1).

J'ai parlé, dans mon discours de l'année dernière, de l'ouvrage de Gabriel Koch, intitulé : *Indo-australische Lepidopteren-Fauna in ihrem Zusammenhang mit der europäischen nebst den drei Hauptfaunen des Erde* (1865). L'auteur se base principalement sur l'étude de nombreuses espèces de Papillons de l'ancien monde, auxquelles il assigne une aire géographique très-étendue, beaucoup d'espèces de pays très-éloignés, qu'on a publiées comme distinctes, devant être regardées comme tout à fait identiques ou n'étant que des variétés occasionnées par la différence de nourriture et de climat. Il montre que le passage

(1) Un changement complet dans la couleur des fleurs, même quand il n'est accompagné d'aucune autre modification apparente des caractères de la plante, paraît être associé à quelque particularité constitutionnelle, qui empêche la fécondation réciproque. Néanmoins, dans le sud de l'Europe, où les *Anagallis* rouge et bleu croissent entremêlés en grande abondance, j'ai trouvé deux fois des individus à fleurs d'un lilas-pourpre pâle, qui étaient peut-être des hybrides de ces deux formes. Darwin, dans son ouvrage sur l'*Origine des espèces*, fait remarquer qu'on n'a jamais réussi à croiser artificiellement ces deux races, qui ne diffèrent absolument que par la couleur de la corolle.

des espèces d'un pays à un autre et leurs migrations lointaines ne permettent pas de tracer des régions nettement limitées ; mais il énumère un certain nombre de genres qui caractérisent deux faunes principales, — celle du nord ou faune européenne, qui ne diffère presque pas de la flore septentrionale dont j'ai parlé précédemment, et la faune indo-australienne, qui correspond à peu près, dans les plantes, au type tropical asiatique. Il signale, dans cette seconde faune, un nombre considérable d'espèces qui s'étendent, depuis le Silhet et la Chine, au delà de l'archipel Indien, jusqu'à Queensland et à la Nouvelle-Galles du Sud ; et à cet égard aussi on trouverait dans les plantes des exemples analogues. Pour compléter la distribution des Papillons sur le globe, il ajoute une troisième région (celle de l'Amérique, spécialement de l'Amérique du Sud), qu'on pourrait proclamer, dit-il, la région des Lépidoptères par excellence, à cause de leur nombre immense et de leur variété. Je ne vois d'ailleurs aucune indication de faunes correspondant aux deux types remarquables que j'ai mentionnés dans la végétation de l'hémisphère austral, celui de l'Australie et celui du sud-ouest de l'Afrique. En ce qui concerne les Lépidoptères d'Australie, il considère cette faune comme « une fille de la faune indienne », n'ayant que quelques genres qui lui soient propres ; et quant à l'Afrique, il rattache avec raison le nord de ce continent à l'Europe, l'est à l'Asie, mais il ne dit rien du sud-ouest. De plus, il ignore complétement les idées de Darwin, et n'y fait jamais la moindre allusion. Selon lui, la présence d'une même espèce dans des régions éloignées est due, tantôt à la migration, tantôt à une naissance simultanée (il emploie ici le mot « naissance », *Entstehung*, mais ne parle pas de création, *Sch pfung*). Il insiste sur ce point que les espèces dites correspondantes, c'est-à-dire les espèces très-voisines qu'on trouve dans des contrées éloignées, ne sont généralement que de simples variétés produites par la nourriture et le climat, mais non de véritables espèces, et il cherche à prouver par des exemples qu'un changement dans l'alimentation des chenilles modifie la couleur des papillons, qu'un temps froid et sec diminue leur grandeur, etc.

L'ouvrage de M. Wollaston, intitulé : *Coleoptera Atlantidum* (1865), est d'une haute importance à cause du soin avec lequel l'auteur indique la distribution géographique de tous les Coléoptères, au nombre de quatorze cent quarante-neuf, qui ont été découverts et en grande partie récoltés par lui dans les îles de l'Atlantique. On y trouve quantité de renseignements dignes de foi, et qui sont d'un grand intérêt pour l'histoire de la vie organique dans les îles isolées. Dans les conclusions générales que renferme l'introduction, M. Wollaston, après avoir montré la connexion évidente que cette faune entomologique présente avec celle de la région méditerranéenne, semble fort peu disposé à abandonner l'idée que ces îles sont les débris d'un ancien continent détruit par une violente action volcanique, les particularités de cette faune lui paraissant s'expliquer ainsi de la manière la plus satisfaisante. Mais sir Ch. Lyell, s'appuyant sur ces mêmes particularités et sur d'autres considérations, a réfuté complétement cette hypothèse, principalement dans le quarante et unième chapitre de la deuxième édition des *Principes*, qui a paru après l'ouvrage de M. Wollaston. Quant à la question d'origine, M. Wollaston se refuse à croire que les types spécifiques soient soumis actuellement à des modifications graduelles. Il admet bien que les formes insulaires proviennent, en beaucoup de cas, du développement de types primitifs ; mais il croit qu'il a suffi d'un petit nombre de générations pour que les races nouvelles aient acquis leurs caractères particuliers, après quoi ces caractères ne changeront plus tant que les races elles-mêmes dureront. Il faut se rappeler cependant que, d'après la manière dont la sélection naturelle règle la variation, tout degré de permanence est compatible avec tout degré de changement ; une race peut à la fois ne pas être permanente dans toutes ses branches, et ne pas changer complétement, même dans le cours de deux ou trois périodes géologiques ; la variation peut être continuelle, tandis que la fixation de formes divergentes peut être excessivement rare.

M. Wollaston a encore augmenté l'intérêt de son premier travail en publiant, d'après le même plan, sous le titre de

Coleoptera Hesperidum, des recherches analogues sur les îles du Cap-Vert. Les rapports remarquables que présentent les Coléoptères de cet archipel avec ceux des Canaries et de Madère, le très-petit nombre d'additions fournies par la faune tropicale de l'Afrique, l'absence générale du caractère tropical (malgré la latitude), enfin la concordance des phénomènes physiques et des autres particularités que présentent ces trois groupes d'îles, tout concourt, selon M. Wollaston, à prouver « qu'ils ne sont que les postes avancés d'une seule et vaste contrée qui a été séparée en plusieurs fragments, et dont la majeure partie est maintenant sous les eaux ». L'auteur se garde bien d'ailleurs d'une affirmation tranchante, et il « omet, de parti pris, toutes les objections fondées sur la géologie ». Cependant, quand on s'occupe d'histoire naturelle générale, on ne doit négliger ni ces objections, ni aucune de celles que les autres sciences peuvent fournir ; et si l'on reconnaît qu'elles sont insurmontables, il faut chercher quelque autre solution au problème. Pourrait-on y rattacher cet autre problème dont je parlais tout à l'heure, celui de l'ancienne connexion qui paraît avoir relié jadis la flore du sud-ouest de l'Afrique à celle du nord-ouest de l'Afrique et de l'ouest de l'Europe, quoique ces deux flores soient séparées aujourd'hui par l'obstacle infranchissable de la zone tropicale ?

M. Bates a publié divers mémoires sur la faune entomologique de la vallée de l'Amazone (*Transactions of the Entomological Society*, new ser. V., et *Transactions of the Linnean Society*, XXIV, etc.). Indépendamment de ses recherches sur les espèces correspondantes et les variétés géographiques, il a fait des remarques intéressantes sur les rapports de la région de l'Amazone avec la Guyane, la Colombie et d'autres contrées de l'Amérique tropicale, rapports qui sont en grande partie les mêmes que ceux qu'on observe dans les plantes. Il reste cependant beaucoup à apprendre sur la végétation particulière, aussi riche que variée, qui couvre les hautes plaines situées au sud de l'Amazone, les pentes orientales des Andes, la contrée accidentée qui environne le Roraima et d'autres districts au nord, d'où

la flore si vaste de l'Amazone semble être en grande partie descendue.

M. Andrew Murray, dans un *Mémoire sur la distribution géographique des Coléoptères du Vieux-Calabar* et dans sa *Monographie des Nitidulariées*, appelle l'attention sur la correspondance remarquable qui existe entre certains types de l'Amérique tropicale et de l'Afrique tropicale. Moi-même, en plusieurs occasions, j'ai signalé ces curieux rapports dans différents types végétaux ; et si nous nous basions sur ces seuls faits, nous pourrions supposer, avec M. Murray, que les deux continents se joignaient autrefois à travers l'Atlantique. Mais, même en laissant de côté les arguments géologiques, cette hypothèse est fortement ébranlée par d'autres faits récemment découverts, entre autres par la présence de ces mêmes types en Australie et dans d'autres contrées éloignées, au sud de l'Equateur. D'ailleurs les caractères généraux de la végétation des deux continents conduisent à une conclusion plus ou moins confirmée, je crois, par différentes branches de la zoologie, savoir, que, même à une époque très-reculée de l'histoire de la vie organique, l'océan Atlantique s'étendait depuis le tropique sud jusque très-avant dans la zone tempérée septentrionale, formant un vaste golfe infranchissable pour les êtres terrestres, sauf les cas d'épaves ou de transports accidentels pareils à ceux qui peuvent se présenter de nos jours.

L'étude de la distribution géographique des Mollusques offre un intérêt particulier, à cause de la grande quantité de coquilles et d'autres dépouilles des animaux testacés qui nous ont été conservées à travers la succession des périodes géologiques, et qui fournissent, mieux que tout autre reste organique, la preuve des grands changements que le globe a subis. Mais je suis trop peu au courant de la paléontologie pour traiter cette question sans m'y être préparé par des lectures plus nombreuses que je n'ai pu le faire. D'ailleurs les Mollusques sont en grande partie des animaux marins ; et, faute de temps et de place, je suis forcé d'ajourner l'examen de tout ce qui a été publié sur la distribution des Poissons et autres animaux marins, et même de tout

animal ou végétal aquatique dont la distribution est réglée par d'autres causes que celle des animaux ou végétaux terrestres. Je ne puis cependant passer entièrement sous silence le mémoire du docteur Günther sur les *Poissons de l'Amérique centrale recueillis par MM. Dow, Godman et Salvin* (*Zoological Transactions*, VI). Des considérations très-importantes, déduites de l'examen de ces riches collections, sont placées en tête de ce travail. Dans mon discours de l'année dernière, je vous parlais du mémoire de Moritz Wagner sur la distribution des Poissons d'eau douce du même pays, et je vous faisais remarquer qu'il avait trouvé une même espèce de Poisson de mer des deux côtés de l'isthme. Aujourd'hui M. Günther a constaté qu'au moins 30 pour 100 (59 sur 193) des Poissons de mer qu'on a observés dans ces parages se rencontrent sur les deux côtes opposées de l'Amérique centrale. S'appuyant sur ce fait et sur d'autres circonstances relatives à la distribution des Coraux, etc., il émet la conjecture que l'Amérique du Nord n'était peut-être reliée jadis à l'Amérique du Sud que par une série d'îles semblable au groupe des Antilles, et plus tard un soulèvement ayant eu lieu (comme dans d'autres parties du globe), la terre ferme aurait fini par s'étendre d'un continent à l'autre ; il indique même sur sa carte les points où il a pu exister des canaux de communication entre les deux océans. Ce que nous avons dit plus haut de la connexion établie par la chaîne des Andes entre la végétation des régions froides ou tempérées du nord et du sud ne s'accorde pas avec l'hypothèse de M. Günther, et suppose au contraire que la continuité de la terre ferme a dû être beaucoup plus grande anciennement qu'elle ne l'est aujourd'hui. Mais les deux hypothèses ne sont pas nécessairement inconciliables, et ne contredisent pas non plus ce qui a été observé dans d'autres parties du globe. Pour les plantes, la continuité du sol doit remonter à une époque beaucoup plus ancienne que la communication entre les deux mers pour les Poissons, et a dû même s'étendre, d'après la nature de la végétation, jusqu'à Cuba et aux Antilles ; or, dans un pays si essentiellement volcanique,

rien, ce me semble, ne nous empêche d'admettre la possibilité de la rupture d'une chaîne de montagnes, suivie, après un long intervalle, par un soulèvement graduel, qui a fini, dans le cours des âges, par combler les canaux précédemment ouverts.

Il me reste à parler des classes supérieures des Vertébré (Oiseaux et Mammifères terrestres). Nous avons vu que dans les plantes le changement d'aire est absolument passif, le transport des espèces se faisant surtout par les graines, quand la nouvelle génération est encore dans le sommeil. Chez les Insectes, le transport est un peu moins passif, car les parents doivent se déplacer, soit avant d'avoir choisi, soit pour choisir l'endroit où naîtra leur postérité. Chez les Vertébrés supérieurs, le transport passif des générations futures n'a presque jamais lieu; la migration des races dépend presque entièrement de la volonté ou de ce qu'on appelle l'instinct des parents, quand ils ont à remplir l'importante fonction de mettre bas, d'élever et de soigner leurs petits. Aussi, malgré un petit nombre d'exceptions, comme la migration volontaire est plus rare, se fait à de plus courtes distances et rencontre de plus grands obstacles que le transport passif, il en résulte que les aires occupées par les races d'Oiseaux et de Mammifères sont généralement plus restreintes et mieux limitées que celles des plantes ou des Insectes, et qu'elles nous font mieux connaître quelquefois l'histoire des îles et des régions isolées durant les périodes géologiques modernes. D'ailleurs la distribution générale des animaux supérieurs, des Insectes et des plantes, présente, comme je l'ai déjà dit, certaines coïncidences remarquables.

Les ornithologistes modernes, en traçant les principales régions et les aires de distribution des Oiseaux à la surface du globe, ont suivi surtout les idées du docteur Sclater, telles qu'il les a exposées dans sa courte mais instructive esquisse de la distribution géographique des Oiseaux (second volume de notre journal, Zoologie). Les profondes connaissances de l'auteur et l'étude spéciale qu'il a faite de cette branche de la science font vivement désirer qu'il veuille bien lui-même étendre et développer son premier travail selon les vues plus larges qu'il a

adoptées aujourd'hui, je crois, comme la plupart des naturalistes. Son mémoire vous a été présenté deux ans avant celui de M. Darwin *Sur la sélection naturelle :* il partageait encore l'idée, alors presque universellement admise, « qu'en règle générale, toutes les espèces d'animaux ont dû être créées dans les limites de l'aire géographique qu'elles occupent actuellement ; et en conséquence il a complétement laissé de côté la question de l'influence de l'origine sur l'aire de dispersion. Il divise la faune ornithologique du monde en six régions, quatre dans l'ancien continent et deux dans le nouveau. Les deux régions paléarctique et néarctique (noms qui semblent indiquer des régions plus froides que celles qu'il a réellement en vue) correspondent presque exactement au grand type septentrional que j'ai mentionné en parlant des plantes. L'auteur signale certains rapports entre ces deux régions, par exemple l'analogie des *Sylvicolæ* et des *Zonotrichiæ* du nouveau monde avec les *Sylviinæ* et les *Emberizæ* de l'ancien ; et si ces rapports sont moins frappants dans les Oiseaux que dans les végétaux, cela vient peut-être de ce que le caractère tropical est généralement plus marqué chez les premiers que chez les seconds ; car on ne pourrait pas dire des plantes « que la plupart des genres appartenant à l'hémisphère boréal, soit dans l'ancien, soit dans le nouveau monde, sont mieux représentés dans la partie tropicale que dans la partie tempérée ». La végétation des régions tempérées, dans l'hémisphère sud comme dans l'hémisphère nord, renferme un grand nombre de genres et quelques familles naturelles, qui sont à peine représentés ou manquent totalement entre les tropiques, ce qui ne paraît pas être le cas chez les Oiseaux.

Parmi les quatre régions tropicales de M. Sclater, il y en a une, la région néotropicale, dont les limites bien tranchées et la richesse extraordinaire en formes variées semblent se retrouver jusqu'à un certain point dans les plantes et les insectes ; mais les trois régions paléotropicales, celle de l'ouest ou Ethiopienne, celle du centre ou Indienne, et celle de l'est ou Australienne, quoique leurs limites soient nécessairement un peu vagues, sont évidemment plus distinctes dans les Oiseaux que dans les plantes. Dans la

région de l'ouest, par exemple, les îles Mascareignes possèdent sans doute une flore très-particulière, qui s'avance plus ou moins dans l'Afrique tropicale et qui est à peine représentée dans l'Asie tropicale ; mais pourtant il y a trop de types communs à l'Afrique tropicale, aux îles Mascareignes et à l'archipel oriental, pour qu'une de ces régions offre un caractère bien distinct. Et dans l'Afrique tropicale, quoiqu'il y ait beaucoup de types locaux fort tranchés, ceux-ci sont généralement isolés, ou ne comprennent qu'un très-petit nombre d'espèces ; ils sont très-variés, et ont moins de rapports entre eux qu'avec certaines formes éparses en Asie, en Australie, ou même en Amérique : aussi serait-on plutôt porté à y voir les restes d'une végétation très-ancienne, autrefois florissante et couvrant un vaste espace, que les membres de tribus puissantes à l'apogée de leur prospérité. De même la flore de l'Australie est beaucoup moins tropicale que sa faune ornithologique, telle que la circonscrit M. Sclater, en y comprenant la terre des Papous et les îles de l'océan Pacifique ; car si l'on retrouve dans ces contrées quelques genres de plantes australiennes, ils n'y sont représentés que par un très-petit nombre de formes anomales, et le siége principal de la flore si particulière de l'Australie est en dehors des tropiques. Je ne trouve pas non plus de faune ornithologique spéciale qui corresponde à la flore du sud-ouest de l'Afrique. Dans l'hémisphère sud comme dans l'hémisphère nord, le caractère tropical paraît beaucoup plus marqué dans les Oiseaux que dans les plantes.

L'*Ornithologie des archipels Viti, Samson et Tonga*, par MM. Finsch et Hartlaub (*Beitrag zur Fauna Central-polynesiens*, 1867), est un ouvrage important pour la géographie zoologique, à cause du soin avec lequel les auteurs indiquent la distribution des 172 espèces observées dans ces îles. Le résultat de leurs recherches, y compris la répartition des espèces dans les différentes îles, est présenté sous la forme de tableaux. Dans leurs remarques préliminaires, sans aborder la question d'origine de cette faune ornithologique, ils donnent une esquisse très-intéressante de ses principaux caractères. Ils paraissent avoir été très-frappés du petit nombre d'Oiseaux terrestres, relativement à l'étendue des îles principales, à leur fer-

tilité et à l'abondance de nourriture que les Oiseaux y trouvent. Ils font ressortir surtout leur pauvreté en *Fringillidœ*, en comparaison de la richesse extraordinaire et exceptionnelle de ce groupe dans les îles Galapagos. En général, cette faune ornithologique semble fournir un excellent exemple d'une faune insulaire soustraite par son éloignement à l'influence des continents. M. Finsch a publié en outre dans les *Mittheilungen* de Petermann (1867) une *Esquisse de la distribution des Perroquets ;* il montre, comme l'avaient déjà remarqué MM. Wallace et Huxley, que ce groupe a pris un développement remarquable en Australie et dans l'Amérique du Sud, tandis qu'il est comparativement peu nombreux dans l'Inde et en Afrique.

M. F. Baird a publié dans le quarante et unième volume du *Journal de Silliman* (1866) un examen fort intéressant de la distribution géographique et des migrations des Oiseaux de l'Amérique septentrionale. Dans la préface de son mémoire il donne un aperçu des régions de M. Sclater, et propose de les modifier, pour ce qui regarde l'Amérique, en formant avec les îles des Indes occidentales une région séparée aussi distincte de l'Amérique du Nord que de l'Amérique du Sud par le grand nombre de ses races locales — genres et espèces. Ici comme dans beaucoup d'autres cas, les particularités que présentent les faunes et les flores insulaires ne semblent pas permettre de les associer aux grandes aires de distribution sur les continents.

Quant aux Mammifères, nous avons dans l'ouvrage de M. Murray (*Geographical Distribution of Mammals*, 1866) un traité plus complet sur cette classe d'animaux que sur aucune autre. L'auteur, n'ayant à s'occuper que d'un assez petit nombre de races, a pu entrer dans le détail de la distribution des groupes secondaires, quelquefois même des espèces, et il a joint à son travail une suite de cent une cartes qui font voir d'un coup d'œil les aires connues, ou présumées, des races principales. Je vous ai entretenus, l'année dernière, des questions générales traitées par M. Murray dans la préface de son livre ; aujourd'hui je ne m'occuperai que de la distribution des Mammifères comparée à celle des plantes, et je laisserai de côté les diverses hypothèses de l'auteur sur les changements géologiques, hypothèses dont plu-

sieurs sont sans doute très-plausibles, mais que je ne me crois pas compétent pour discuter. M. Murray s'éloigne fort peu des idées du docteur Sclater, en ce qui concerne la répartition générale des animaux à la surface du globe ; car ses provinces correspondent généralement aux régions de M. Sclater, quoique sous des noms différents ; je n'y remarque qu'une légère modification dans les limites, d'ailleurs peu précises, qui séparent les aires septentrionales et tropicales dans l'ancien et le nouveau continent, et quelque différence dans la disposition générale des divisions primaires et dans l'appréciation de leur importance relative. En résumé, on peut dire que la distribution des Mammifères se rapproche plus, à beaucoup d'égards, de celle des plantes que la distribution des Oiseaux : la connexion des provinces septentrionales des deux mondes et la disjonction de leurs provinces tropicales sont plus marquées, et le caractère tropical est évidemment moins prononcé dans les Mammifères que dans les Oiseaux. Mais le trait le plus frappant de la distribution des Mammifères est l'isolement de la faune australienne. Les Rats et les Chauves-Souris sont en effet, à ce qu'il semble, les seuls groupes importants qui soient communs à l'Australie et à d'autres régions. Les *Marsupiaux* de l'Australie ont une aire aussi limitée que la vraie flore australienne ; et d'autre part aucun type de Mammifère de l'Asie tropicale ne paraît se retrouver dans le nord-est de l'Australie, contrairement à ce qu'on remarque dans les plantes et les Insectes, ce qui dépend probablement de l'absence de ce transport passif dont je parlais tout à l'heure. M. Murray n'indique point de type spécial dans le sud-ouest de l'Afrique, qui corresponde à la flore si particulière de cette contrée. Dans un continent ininterrompu, comme l'Afrique, la migration volontaire semble devoir être plus puissante que le transport passif pour effacer les limites des régions locales des êtres organisés.

J'aurais vivement désiré m'assurer des opinions du professeur Huxley sur la géographie zoologique, non-seulement parce que son autorité est d'un grand poids dans tout ce qui touche à la zoologie ancienne ou moderne, et parce qu'il a consacré de longues études à cette branche spéciale de la science, mais

aussi à cause de l'appui zélé qu'il a donné, comme on sait, aux théories darwiniennes. Mais je ne connais d'autre publication de lui ur ce sujet que l'esquisse générale insérée dans son *Mémoire sur les Gallinacés* (*Proceedings of the Zoological Society*, May, 1868). Relativement à la distribution générale des grandes régions zoologiques, M. Huxley considère la division première en régions septentrionales et australes comme plus importante que celle en régions néogéennes et paléogéennes. En conséquence, il réunit sous la dénomination générale d'*Arctogœa* les régions néarctique et paléarctique de Sclater, en y joignant les parties éthiopienne et indienne de la région paléotropicale ; et tout en admettant le caractère bien tranché de la région néotropicale (qu'il aimerait mieux désigner sous le nom d'Austro-Colombie), il sépare l'Australie de la région paléotropicale, et regarde aussi la Nouvelle-Zélande comme une région distincte, quoique peu étendue; mais ces deux dernières, réunies à l'Austro-Colombie, pourraient former, selon lui, sous le nom de *Notogœa*, une seconde grande division géographique de la faune du globe.

Le dernier ouvrage dont il me reste à parler, est celui de M. Wallace sur l'archipel malais, où l'auteur a si admirablement exposé les rapports des faunes de ces îles entre elles et avec celles des continents voisins, et montré les conséquences qu'on peut en tirer pour l'histoire physique et l'âge relatif des îles principales. Il a consacré plusieurs chapitres à la géographie physique de l'archipel et à l'histoire naturelle des cinq groupes dans lesquels il le divise : ces chapitres, détachés de la partie narrative plus légère, mais non moins instructive, font connaître les vues de l'auteur d'une manière si claire et si concise, qu'il serait inutile de vouloir les analyser. Je me bornerai à faire remarquer que l'étude de la végétation de ces îles n'aurait probablement jamais pu conduire au résultat que M. Wallace a obtenu de ses recherches, savoir, que la séparation de l'île de Java est antérieure à celle de Sumatra, que l'isolement des Célèbes remonte à une date encore plus reculée, et que les îles de l'est ont été séparées très-anciennement de celles de l'ouest par un détroit profond. Rien n'indique que la barrière actuelle, absolument infranchissable pour les animaux supérieurs, même quand elle est aussi étroite

qu'entre Bali et Lombok, n'ait été souvent traversée autrefois par les plantes, et ne le soit même encore aujourd'hui. Il est vrai, comme je l'ai déjà dit, que nous n'avons point pour ces contrées de flores bien faites, qui puissent nous fournir des renseignements certains sur leur végétation comparée : mais nous savons que certains types de plantes australiennes s'étendent jusqu'à Bornéo et aux Célèbes, et que le caractère indo-malais se retrouve dans un grand nombre d'espèces et de genres à Timor et dans le nord de l'Australie, — preuve nouvelle de la grande différence qu'il y a entre les effets du transport passif et de la dispersion active.

J'espère que les zoologistes, en lisant quelques-unes des critiques que je me suis permises, ne me reprocheront pas d'être trop sorti de mon domaine. Souvent lorsque j'ai eu à déterminer la distribution géographique d'un groupe de plantes ou l'étendue d'une des flores dont je me suis occupé, j'ai trouvé de grandes lacunes et de grandes inexactitudes dans quelques-unes des flores et des monographies les plus estimées ; et quand j'ai voulu comparer la distribution des végétaux avec celle des animaux qui en dépendent ou qui les accompagnent, il m'a paru qu'il était encore plus rare de trouver des faunes locales ou des monographies d'où l'on pût tirer aisément les renseignements nécessaires. Si j'ai cru devoir appeler votre attention sur ce point, ce n'est pas que je veuille aucunement déprécier ces recherches plus importantes sur l'anatomie, la structure et la physiologie, qui ont élevé la botanique, et plus encore la zoologie, si fort au-dessus de ce qu'elles étaient au commencement du siècle, quand leur rôle se bornait à faire des catalogues de muséums ; mais je désire vivement faire comprendre aux zoologistes, aussi bien qu'aux botanistes, combien il importe aujourd'hui de réunir et de classer des documents exacts dans cette autre branche de la science, qui doit contribuer autant ou plus que toute autre à résoudre ce qu'on a nommé le grand problème de notre époque, celui de l'origine, du développement et de l'histoire des espèces ou des races.

NOTES SUR LES QUINQUINAS,

Par M. H.-A. WEDDELL.

I. — Remarques générales.

I

A l'époque où parut mon *Histoire naturelle des Quinquinas* (Paris, 1849), il n'y avait sur cette matière aucun travail récent, basé sur des observations originales ; et, parmi les ouvrages antérieurs, aucun ne rendait compte des types qui habitent les Andes du Pérou méridional et de la Bolivie. Mon exploration de ces contrées complétait donc, à peu de chose près, celle de la région des *Cinchona*.

J'avais voulu d'abord ne comprendre, dans le résumé de mes études sur les Rubiacées fébrifuges, que les espèces que j'avais observées vivantes ; mais ayant reconnu que ce résumé gagnerait à présenter une revue générale du groupe, je n'hésitai pas à en élargir le cadre, malgré le danger que je courais d'y insérer bien des erreurs : les unes dépendant de l'état incomplet des matériaux mis à ma disposition, ou de l'absence d'indications suffisantes sur leur origine ; les autres de la nécessité d'accepter, en ce qui concernait les écorces, des analyses chimiques déjà anciennes et opérées par des procédés imparfaits. Avec ses défauts, le tableau n'en devait cependant pas moins offrir, en gros, l'état de la science quinologique, au moment où j'écrivais, et ses inégalités avaient peut-être l'avantage de signaler les questions obscures qu'il restait à étudier, et d'en hâter peut-être l'éclaircissement. C'est, je suis heureux de le dire, ce qui est arrivé ; et si, parmi les résultats utiles de la publication de mon livre, je place au premier rang la culture des arbres à quinquina dans les Indes orientales, je dois mentionner, immédiatement après, la coopération de tant d'hommes d'un

haut mérite à une étude relativement délaissée avant eux, et la solution définitive d'une grande partie des questions litigieuses auxquelles je faisais allusion plus haut.

II

Les districts cinchonifères les plus étudiés par nos prédécesseurs, ceux qui avaient été le siége des explorations de Ruiz et Pavon, de Mutis, de Humboldt et Bonpland, ainsi que des élèves de ces hommes illustres, comprenaient la Nouvelle-Grenade et le nord du Pérou; mais les documents que nous possédions sur leurs produits, à l'époque de ma publication, n'étaient nullement en rapport avec leur célébrité et avec les controverses auxquelles leur exploration avait donné lieu. Cela provenait de ce qu'une grande partie des travaux quinologiques de deux des principaux auteurs cités était restée inédite, bien qu'il fût cependant avéré qu'il existait des ouvrages manuscrits de ces savants. C'est donc un grand service que M. Howard a rendu à la science en mettant au jour la *Quinologie* de Pavon (1), qui nous fait connaître, bien plus complétement que ne l'avait fait Ruiz ou la *Flore péruvienne*, les richesses quinologiques du Pérou, au nord de la latitude de Lima. M. Cl. Markham, de son côté, en mettant à la portée de tous l'œuvre originale du célèbre Mutis (2), nous a mis à même de mieux apprécier l'étendue des renseignements que l'on possédait alors sur les Quinquinas de la Nouvelle-Grenade moyenne; et M. le docteur Karsten a complété, par ses belles observations sur la végétation des provinces septentrionales de la même contrée (3), aussi bien que par un ouvrage spécial (4), la série des notions qui nous

(1) *Illustrations of the Nueva Quinologia of Pavon,* by J. Eliot Howard, F. L. S. London, 1862.

(2) *The Chinchona species of New-Granada, containing the botanical descriptions of the species examined by Drs. Mutis and Karsten, with some account of those Botanists, and of the results of their labours,* by Clements R. Markham, F. L. S. London, 1867.

(3) *Floræ Columbiæ terrarumque adjacentium Specimina selecta.* Berol., 1861.

(4) *Die medicinische Chinarinden Neu-Granada's.* Berl., 1858.

manquaient encore sur cette partie de la région. Ce sont les ouvrages dont je viens de parler qui ont apporté le plus riche appoint à nos connaissances quinologiques, dans les vingt années qui viennent de s'écouler. Les expéditions envoyées par les gouvernements anglais et hollandais à la recherche des espèces propres à être introduites dans leurs cultures de l'Inde, ont en outre fortement contribué à compléter les renseignements que nous avions déjà sur certains types, et nous en ont même fait connaître quelques-uns entièrement nouveaux. Les noms de MM. Hasskarl, Markham, Spruce, Pritchett et Cross sont ceux qui se rattachent principalement à ces explorations. Enfin, parmi ceux qui ont travaillé avec le plus de succès, par des études de cabinet ou de laboratoire, par l'examen comparatif des échantillons d'herbier et des écorces, ou par des analyses chimiques, à élucider les nombreuses questions de détail qui ont trait à l'histoire des Quinquinas, je dois citer, après les noms si connus de Guibourt et de Howard, ceux de Berg, de Delondre, de Klotzsch, de Pereira et de Schleiden, savants déjà ravis à la science; et ceux de MM. Broughton, Flückdiger, Miquel, Pasteur, Phœbus, G. Planchon, Reichardt, Schmidt, Vogl, de Vrij, etc. Cette simple énumération suffit pour donner une idée des progrès que la quinologie a dû faire depuis l'époque signalée en tête de ces notes.

III

Au point de vue purement botanique, et en particulier de la délimitation du genre *Cinchona*, trois ouvrages méritaient particulièrement d'être consultés, il y a vingt ans : c'étaient le *Prodromus* de De Candolle, le *Genera Plantarum* d'Endlicher, et un travail de Klotzsch (1) publié dans la *Flore médicale de Hayne* (vol. XIV). C'est en effet dans ces ouvrages seulement (dans les deux derniers surtout) que les Quinquinas fébrifuges sont nettement séparés des faux Quinquinas, par l'indication précise du

(1) *Darstellung und Beschreibung der in der Arzneykunde gebräulichen Gewächse.* Berlin, 1803-46. Auct. Hayne, Brandt et Ratzeburg, Klotzsch.

caractère tiré de la déhiscence de la capsule : de bas en haut dans les premiers, et de haut en bas dans les derniers.

J'avais toujours regardé le caractère que je viens de rappeler comme propre à limiter absolument le genre *Cinchona*, c'est-à-dire le groupe des Quinquinas fébrifuges ; mais M. le docteur Karsten a mis, dans ces derniers temps, sa valeur en question. A l'appui de son opinion, il cite le fait de plusieurs faux Quinquinas chez lesquels la déhiscence de la capsule aurait lieu tantôt du sommet vers la base et tantôt de la base au sommet, et il mentionne, en outre, plusieurs vrais Quinquinas dont les fruits s'ouvriraient parfois, contre leur habitude, de haut en bas (1). Or, l'un de ces derniers faits ayant été signalé par moi-même, je suis loin de vouloir les contester. Seulement je dois dire que j'ai toujours soupçonné, et que je soupçonne encore que cette variation dans le mode de déhiscence n'est pas normale, et s'opère après la récolte de l'échantillon, soit par une cause, soit par une autre. C'est pourquoi, avant d'admettre, dans une même espèce, les deux modes de déhiscence, je veux être bien assuré qu'ils ont été constatés sur la plante vivante. Les observations suivies qu'on va pouvoir faire sur les diverses espèces cultivées dans les Indes lèveront, du reste, bientôt, il faut l'espérer, les doutes nés à ce sujet.

IV

Il s'en faut beaucoup d'ailleurs que le caractère sur lequel j'ai appuyé dans la note précédente soit le seul distinctif des vrais Quinquinas, et il y a lieu de s'étonner que le savant auteur de la *Flore de Colombie* ait paru le supposer. De même que tous les genres à limites vraiment naturelles, les *Cin-*

(1) M. Howard, aussi, a fait cette remarque sur plusieurs espèces de vrais Quinquinas. C'est ainsi qu'il m'écrit, en date du 16 novembre dernier : « J'ai reçu un excellent échantillon de l'arbre qui fournit le *quinquina-Pitayo*, avec capsules s'ouvrant comme dans la figure non ombrée du *C. Condaminea* des *Plantes équinoxiales*. Je possède également un spécimen de cette dernière espèce, provenant de la collection même de Bonpland, et d'autres pareils, de l'Inde, tous offrant la même tendance des capsules à s'ouvrir de haut en bas. »

chona se séparent des groupes voisins, non par un seul caractère, mais par un ensemble de caractères. Pour ne parler que de la fleur, il n'est point, je ne dirai pas un botaniste, mais une personne étrangère à la science, qui, après avoir examiné une seule fois la corolle d'un *Cinchona*, hésite à la distinguer de celle d'un faux Quinquina. Les poils en massue, longs et enchevêtrés, qui en bordent les segments, ne se voient, en effet, à ma connaissance, dans la fleur d'aucun genre voisin, et caractérisent au contraire, indistinctement, tous les *Cinchona*. Je ne mentionne qu'en passant le parfum suave de ces mêmes fleurs, qui constitue cependant encore un des caractères naturels du genre, si je puis m'en rapporter à mon expérience ; car je l'ai constamment trouvé semblable à lui-même dans les espèces que j'ai pu examiner ; et je ne l'ai rencontré, d'autre part, dans aucune autre plante de la même tribu. Est-il besoin enfin de faire ressortir encore le relief tout particulier que donne aux représentants de ce genre remarquable la présence des alcaloïdes (1) ? Ce n'est pas que l'existence de la quinine et de la quinidine, de la cinchonine et de la cinchonidine, dans le tissu cortical de ces plantes, constitue, à proprement parler, un caractère botanique ; mais il est difficile de ne pas voir, dans une pareille

(1) Quelques analyses faites depuis la publication de mon travail, notamment celles qui sont relatées à la page 40 de la *Quinologie* de Delondre et Bouchardat (Paris, 1854), étaient de nature à faire supposer qu'un ou plusieurs de ces alcaloïdes pouvaient se rencontrer dans d'autres écorces que celles des *Cinchona*, mais ces résultats n'ont pas été confirmés par des travaux subséquents. C'est ainsi que le docteur Karsten (*Medicinische Chinarinden*, p. 10) dit : « Je n'ai trouvé aucun alcaloïde dans l'écorce du *C. ovalifolia*, tandis que Delondre et Bouchardat (*Quinol.*, p. 40, pl. 22) donnent, comme résultat de l'analyse qui en a été faite par Henry : 6 centigrammes de sulfate de quinine. Delondre dit aussi que le *quina rôja*, du *C. oblongifolia* de Mutis, renferme de la quinine et de la cinchonine ; mais l'examen de sa description et de ses figures montre qu'il a confondu l'écorce en question avec une variété rougeâtre du *quina anaranjada* de Mutis. » D'autres essais, faits antérieurement sur l'écorce des mêmes espèces, par M. Howard, ont donné des résultats également négatifs ; et je puis ajouter que cet habile expérimentateur vient encore, tout récemment, de confirmer, d'une manière générale, l'assertion que j'avançais, il y a vingt ans (*Hist.*, p. 78), relativement à l'absence complète des alcaloïdes fébrifuges dans les écorces des faux Quinquinas : « As regards the product of Cinchona alcaloids being confined to » the true *Cinchonæ*, this may be affirmed with much certainty. » (How., *in litt.*, 22 nov. 1869.)

concordance des constitutions organique et chimique, un argument de plus en faveur de la thèse que je soutiens.

V

Quelle que soit donc l'exactitude des observations du docteur Karsten, je ne puis accepter les déductions qu'il en a tirées. Selon moi, des trois sections constituant, pour cet auteur, le genre *Cinchona*, la première (*Quinaquina*) doit seule le représenter (1). Les deux autres (*Heterasca* Karst. et *Ladenbergia*), comprenant, entre autres, ses *CC. heterocarpa*, *pedunculata*. *prismatostylis*, *Bogotensis* et *Moritziana*, appartiennent au genre *Buena* Pohl (*Cascarilla* (2) de ma *Monographie*).

VI

Le travail quinologique de Mutis, dont il a été question dans la note II, a pour titre : *Quinologiæ pars quarta, continens descriptiones generis, specierum et varietatum.* L'ouvrage général, dont celui-ci faisait partie, était intitulé : *El Arcano de la quina.* M. Cl. Markham donne, dans sa préface, l'histoire des péripéties par lesquelles le manuscrit a passé, avant d'arriver enfin à voir le jour. Les trois premières parties, rendant compte des vertus médicinales, de l'extraction et de l'emploi du quinquina, ont été publiées à Madrid en 1828. L'éditeur ne crut pas, sans doute, que la quatrième partie, de nature exclusivement botanique, présentât assez d'intérêt pour leur être jointe, et elle est

(1) En en retranchant toutefois le *C. Henleyana* Karst., que l'auteur rattache à la section *Muzonia* du genre *Cascarilla*. Je n'ai observé, je dois le dire, la déhiscence de la capsule ni dans l'une ni dans l'autre des deux espèces que j'y ai placées. J'ai présumé, toutefois, qu'elle devait se faire de haut en bas, à cause d'un commencement de solution de continuité dans ce sens, remarqué sur un fruit du *C. Muzonensis* que j'ai fait figurer : scission qui a pu, fort bien, n'être aussi qu'un effet accidentel. Si la déhiscence se fait normalement de bas en haut dans les trois espèces, ce caractère, joint à ceux tirés des autres particularités de structure signalées par M. Karsten, suffit pour élever au rang de genre la section *Muzonia*.

(2) L'adoption de ce nom de *Cascarilla* ayant souffert quelques difficultés, j'ai proposé (*Journal of the Linn. Soc.*, XI, p. 185) de reprendre celui plus ancien de *Buena*, laissé de côté sans motifs valables.

restée enfouie, jusque dans ces derniers temps, dans un magasin dépendant du jardin botanique de Madrid. — « Cette quatrième partie de l'ouvrage de Mutis, écrite il y a plus de soixante ans, et dont le manuscrit est resté enterré cinquante ans dans un magasin d'outils de Madrid, ne peut manquer, dit M. Markham (*loc. cit.*), d'intéresser les botanistes, ceux surtout qui s'occupent de l'étude du genre *Cinchona;* aussi dois-je me regarder comme heureux d'avoir contribué à la tirer de l'oubli. » — J'ajouterai, de mon côté, que, par la publication de cet ouvrage, M. Markham a rendu en même temps un grand service à la mémoire de Mutis, dont les talents, comme botaniste et comme observateur, ont été si diversement appréciés, faute surtout d'œuvres qui permissent de le juger en connaissance de cause. Quant à moi, je n'ai pu, je dois l'avouer, prendre connaissance de celle-ci, sans être frappé de l'esprit dans lequel elle semble avoir été conçue. J'admets volontiers que Mutis ait eu le tort (comme plus d'un de ses successeurs) de trop systématiser, avant d'avoir suffisamment connu les détails de son sujet; mais, à mon sens, ce défaut est encore préférable à celui d'amonceler les faits sans ordre aucun : reproche que méritent quelque peu les rivaux en quinologie du célèbre botaniste de Santa-Fé (1).

VII

Les réflexions qui précèdent, et qui m'étaient suggérées par la lecture du trop court travail de Mutis, m'ont conduit tout naturellement à me demander si le temps n'était pas venu de mettre à profit les nombreuses données réunies depuis quelques années sur les caractères botaniques et chimiques des *Cinchona*, afin d'établir, approximativement du moins, un tableau de leurs

(1) Quant à l'honneur que Mutis s'attribue d'avoir été le premier à faire connaître l'existence du Quinquina dans la Nouvelle-Grenade, on paraît assez d'accord pour le faire remonter à Lopez Ruiz, qui aurait reconnu l'arbre aux environs de Honda, avant même que Mutis fût venu dans le pays (voyez à ce sujet le livre intitulé : *Defensa y demostracion del verdadero descubridor de los Quinas del Reyno de Santa Fe. Su autor el mismo descubridor*, Don Sebastian Josef Lopez Ruiz; Madrid, 1802). Toujours est-il que Mutis a, plus que tout autre, contribué à faire profiter de la découverte sa patrie adoptive.

affinités (1). Je vais essayer de montrer sur quelles bases j'ai cru pouvoir le construire.

Les difficultés qui se présentent dès l'abord à celui qui tente de grouper entre elles les formes déjà très-nombreuses de ce genre, résultent, à ce qu'il semble, des circonstances suivantes :

1° Il n'y a aucun caractère botanique qui permette de sectionner le genre d'une manière utile.

2° Sauf dans un très-petit nombre de cas, il est impossible de distinguer nettement une espèce des espèces voisines, au moyen d'un seul caractère. Cette distinction ne peut être établie que par un ensemble de signes diagnostiques.

3° Les influences du sol et du climat, ces dernières particulièrement variables dans une région montagneuse, celles enfin dérivant des différences d'exposition, se font sentir d'une manière remarquable sur les plantes qui nous occupent, et de ces influences résulte la production de formes anomales qu'on hésiterait, en l'absence de données précises, à rattacher au type dont elles proviennent.

4° Les causes qui influent sur la forme, la texture et la couleur des organes, agissent avec non moins d'énergie, parfois même d'une manière plus frappante encore, sur la nature et les proportions des principes immédiats élaborés dans l'intimité de leurs tissus (2).

(1) J'ai déjà nommé ailleurs les principales sources auxquelles j'ai dû puiser; mais je manquerais à la reconnaissance que je dois à mon excellent ami M. Howard, si j'omettais de dire aussi combien m'ont été précieux les renseignements directs que je dois à son inépuisable obligeance. Il suffira d'ailleurs d'un simple coup d'œil jeté sur le tableau dont j'ai parlé, pour apprécier le nombre des données importantes qui m'ont été fournies par les ouvrages de cet éminent quinologiste. C'est également un devoir pour moi de dire combien j'ai rencontré d'indications utiles dans l'excellent *compendium* de M. Gustave Planchon, digne successeur du consciencieux Guibourt, et continuateur de son œuvre.

(2) L'influence de l'exposition sur les formes et les produits des végétaux est trop connue aujourd'hui pour qu'il soit utile de s'y arrêter ici : elle reproduit, en quelque sorte, sur une petite échelle, les effets résultant des différences de climat. Les Quinquinas devaient naturellement obéir à la loi commune; il était néanmoins utile de confirmer ces prévisions par des observations directes. C'est ce qu'a fait le doc-

5° Enfin l'examen des semis obtenus dans les cultures des Indes a paru démontrer qu'il y avait eu croisement entre les espèces, c'est-à-dire production d'hybrides ; d'où l'on pourrait assez naturellement conclure qu'il s'en produit également dans les forêts natales des Quinquinas, et que nos herbiers en renferment peut-être déjà un certain nombre (1).

En résumé, soit par une cause, soit par une autre, le nombre des formes composant le genre *Cinchona* paraît avoir constamment tendu à augmenter, et les chaînons de la série à se relier entre eux d'une manière si intime, qu'on a bien pu se demander si tous n'étaient pas le résultat du développement et de la variation d'un très-petit nombre de formes primitives ou typiques (2). Telle était vraisemblablement l'opinion de Mutis ; et c'est sans doute sous l'empire de cette idée que, dans sa Quinologie, il a admis deux types seulement parmi les espèces fébrifuges : les *CC. lancifolia* et *cordifolia*, auxquels il rattache, comme variétés, toutes les autres formes qui étaient parvenues à sa connaissance.

teur Karsten, à l'ouvrage duquel je dois renvoyer pour des détails fort intéressants sur ce sujet, surtout en ce qui concerne les différences observées dans la proportion des alcaloïdes, selon les divers degrés d'altitude auxquels croissent les arbres, sur une même montagne.

(1) Il ne faudrait pas, toutefois, trop se hâter de conclure de la plus ou moins grande facilité avec laquelle se sont faits ces croisements dans les cultures, qu'il a dû en être de même dans les forêts des Cordillères, et expliquer ainsi la multiplicité extraordinaire de formes que nous présente ce groupe ; car l'éloignement qui existe habituellement entre les individus d'espèces différentes, dans l'état de nature, peut-être aussi le moins grand nombre d'insectes fréquentant les fleurs des forêts, doivent rendre ces accidents bien plus rares que là où des espèces variées sont entremêlées, ou, tout au moins, se trouvent en masses rapprochées. Quoi qu'il en soit, supposant le fait suffisamment démontré, en ce qui regarde les cultures, il est clair que c'est au bouturage surtout que l'on devra avoir recours pour la multiplication, si l'on tient à conserver la pureté des races.

(2) Ou même d'une seule, qui serait alors nommée, à juste titre, *Quina primitiva.* — « The occurrence of these intermediate forms », dit M. Howard, dans l'introduction du bel ouvrage cité plus haut (p. VI), « suggests the enquiry whether all the species » of *Cinchona* have had but one and the same origin, and have varied by the influence » of climate, soil, etc., into the many sorts which we now behold. » — J'ai moi-même exprimé, il n'y a pas longtemps (in *Report of international Hort. and Bot. Congr.*, p. 222), la même manière de voir ; mais je crois que l'hypothèse de plusieurs types offre plus d'avantage au point de vue pratique.

Rassembler autour d'un petit nombre de types, considérés comme centres d'attraction, des éléments qui autrement seraient épars, voilà donc, ce semble, le sentiment qui a guidé le botaniste de Santa-Fé ; et c'est encore cette hypothèse qui s'offre à moi, aujourd'hui, comme la plus propre à être mise en œuvre, pour donner une idée quelque peu nette de la valeur relative et de la subordination des formes, dans le groupe que nous avons en vue. Aussi est-ce elle qui m'a dirigé dans la classification dont je donne ci-après l'exposé. Pour l'établir, j'ai commencé par réunir en petits groupes les formes liées entre elles par un certain ensemble de caractères, sinon parfaitement définis, du moins suffisants pour leur donner une apparence de connexion peu ou point discutable. Ces groupes, considérés comme secondaires, ont été ensuite réunis en un petit nombre de faisceaux primaires, auxquels j'ai attaché le nom d'une de leurs formes les plus marquantes, qui en a été regardée comme la Souche (*Stirps*)(1). Les divisions secondaires, définies plus haut, ont été qualifiées de Rameaux, et se subdivisent en Espèces (2),

(1) L'idée de filiation impliquée par le mot *Stirps* me l'a fait préférer à tout autre pour désigner les groupes primaires des *Cinchona*. C'est, je crois, Spring qui l'a employé le premier dans sa *Monographie des Lycopodiacées ;* et divers autres cryptogamistes l'ont adopté après lui.

(2) On me demandera peut-être ce que j'entends ici par le mot Espèce. La réponse à cette question se trouve implicitement dans ce que j'ai dit plus haut de la connexion intime des formes observables dans le genre *Cinchona*. On comprend, par conséquent, que, tel que je l'emploie, il exprime simplement un degré de variation plus élevé d'un ou deux échelons que celui de la Variété. L'Espèce de mon tableau est donc, au Rameau, d'une part, et à la sous-Espèce ou la Variété, de l'autre, ce que la Variété est à l'Espèce et à la sous-Variété, ce que le Rameau est à la Souche et à l'Espèce. Il est assez probable que si l'on venait à faire, de quelques autres Genres végétaux, une étude aussi minutieuse que celle qu'on fait, depuis quelque temps, de celui-ci, on serait également conduit à multiplier les mots, pour désigner les nouveaux degrés de variation qu'on y reconnaîtrait, et, par suite, à attribuer, comme dans le cas actuel, une valeur différente aux mots déjà employés. Il serait difficile, je pense, de trouver un meilleur exemple que celui des *Cinchona*, pour montrer jusqu'à quel point ce que les botanistes appellent Espèce est une chose peu définissable, et combien l'idée qu'on est porté à s'en faire peut varier, selon le point de vue auquel on se place, ou, bien souvent encore, selon ce qu'on pourrait appeler les exigences de la situation.

sous lesquelles viennent se ranger les sous-Espèces, les Variétés et les sous-Variétés.

L'importance relative des divisions primaires, au nombre de cinq, sera saisie à la simple inspection du tableau ; je me bornerai donc, dans ces généralités, à indiquer l'analogie que deux d'entre elles présentent avec deux des espèces de Mutis. Ainsi, en se reportant à son travail, on constatera facilement que mon premier groupe (*Stirps Cinch. officinalis*) correspond, à peu de chose près, au *C. lancifolia* (1) ; et le cinquième (*Stirps Cinch. ovatæ*) au *C. cordifolia* de cet auteur. L'analogie entre les groupes actuels et ceux qui les ont précédés ne s'étend pas, toutefois, bien au delà du fond. Ce qui les différencie, dès le premier abord, c'est l'importance bien plus grande donnée aujourd'hui aux types principaux, et la facilité qui en résulte pour la coordination et la nomenclature des divers degrés de variation que l'on a observés chez elles. Quant aux espèces formant les trois autres groupes, elles ne paraissent pas avoir été connues de Mutis ; il n'a donc pas eu à les juger.

Pour terminer ces observations préliminaires, je dois faire observer que le premier rameau de la deuxième division (*Stirps C. rugosæ*) est formé d'espèces caractérisées par la présence de poils à la face interne du tube de la corolle. C'est une particu-

(1) C'est également, en en défalquant la var. *Pitayensis*, le *C. Condaminea* de ma Monographie. Et puisque l'occasion s'en présente, qu'il me soit permis de dire, en passant, que la fusion trop intime que j'ai faite sous le nom de *C. Condaminea* ne l'a été que sous le bénéfice de certaines restrictions (vid. *Hist.*, p. 40), qui montrent assez clairement que je ne la regardais nullement comme une mesure définitive. Quoi qu'il en soit, elle n'en a pas moins servi de texte à quelques discussions, ayant assez généralement pour but de passer condamnation sur elle. Je ne vais pas chercher à la défendre ; mais peut-être ne me trompé-je pas de beaucoup, en disant que c'est la forme plutôt que le fond qu'on a voulu attaquer ; et, pour le prouver, il me suffira de citer textuellement les paroles d'un auteur qui a étudié la question quelques années après moi, et dont on suspectera d'autant moins les sentiments, qu'il est précisément un de ceux qui ont le plus combattu le rapprochement en question. — « The *C. Condaminea* », dit M. Howard (*Illustr. Nov. Quin.*, Introd., p. VI), « passes through » various forms into the *C. Pitayensis*, in Popayan, and thence, perhaps, into numerous » varieties of the *C. lancifolia* Mutis, in New Granada, some approximating to those » last mentioned, others (to judge from specimens at Kew and Paris) approaching to » the *C. nitida* and to the Loja barks, the so called *Quina primitiva* type. »

larité qui mérite qu'on s'y arrête, parce qu'elle constitue le seul caractère botanique, au moyen duquel il serait possible, à la rigueur, de grouper les espèces du genre, comme cela se pratique habituellement.

II. — Tableau des Espèces, sous-Espèces, Variétés et sous-Variétés (1) observées dans le genre Cinchona, groupées dans l'ordre de leur filiation présumée.

CINCHONA.

I. — Stirps Cinch. officinalis.

Ramus A. — *Euofficinales.*

C. officinalis [1] Linn., *Syst. veg.*, éd. X, 929 ; Hook. fil., in *Bot. Mag.*, ann. 1863, n. 5364 ; How., in *Report of Internat. Hort. Congr.*, etc., p. 201. — C. Condaminea α vera Wedd., *Hist.*, p. 37, excl. syn. C. stup.

α. *Uritusinga* [2] How., l. c. — C. Uritusinga Pav., in How. *Illustr. Nov. Quinol.* cum icon. — C. macrocalyx δ Uritusinga, DC., *Prodr.*, IV, p. 353. — C. academica Guibourt, *Hist. des Drogues*, éd. 4, 3, p. 99.—C. lancifolia, var. ι, Mutis, in Markham *Chinch. of New. Gran.*, p. 25. — Quina-quina La Condamine.

β *Condaminea* [3] How., in *Rep.*, etc., p. 202. — C. Condaminea Humb. et Bonpl., *Pl. équin.*, t. X, pro p. (specim. fruct.). — C. Chahuarguera Pav. in How. *Illustr.* — C. Condaminea, var. Chahuarguera DC., l. c., p. 352. — C. lancifolia, var. μ Mutis, l. c., p. 26.

γ *Bonplandiana* [4] How., in *Rep.*, etc., p. 203.

a. *colorata* [4] How., l. c. — C. Chahuarguera, var. Pav., in How. *Illustr.*, cum icon.

b. *lutea* [4] How., in *Rep.*, etc., l. c.

c. *angustifolia* [5] How., in litt. — C. officinalis, var. lanceolata Broughton, mscr.

(1) Les noms des Espèces et des sous-Espèces sont en petites capitales (les secondes sont distinguées par un astérisque) ; ceux des Variétés et des sous-Variétés sont en italiques, et précédés : les premiers, de lettres de l'alphabet grec ; les seconds, de lettres de l'alphabet romain. Les chiffres placés immédiatement après le nom renvoient aux *Notes spéciales* qui font suite au Tableau.

* C. CRISPA [6] Tafalla, in How. *Illustr.*, cum icon. — C. officinalis δ crispa, How., in *Rep.*, etc., l. c. — C. violacea, Pav., l. c.? — C. lancifolia, var. ε Mutis, l. c.

Ramus B. — *Macrocalycinæ*.

C. MACROCALYX [7] Pav., ap. DC., in *Bibl. univ.*, 1829, 2, p. 151; *Prodr.*, 4, p. 353; How., *Illustr.*, cum icon.— C. Condaminea β Candollii Wedd., *Hist.*, p. 37, t. 4 *bis*, A ; G. Planch., *Quinq.*, p. 77.

* C. PALTON [8] Pav., in How., l. c., cum icon. ; G. Planch., l. c., p. 78.

* C. SUBEROSA [9] Pav., in How., l. c. ; G. Planch., l.c., p. 136.

* C. COCCINEA [10] Pav., in How., l. c., cum icon. ; G. Planch., l. c., p. 81.

* C. HETEROPHYLLA [11] Pav., in How., l.c., cum icon. ; G. Planch., l. c., p. 136.

C. LUCUMÆFOLIA [12] Pav., in How., l. c., cum icon. ; G. Planch., l. c., p. 91. — C. macrocalyx γ lucumæfolia DC., *Prodr.*, 4, p. 353. C. Condaminea γ lucumæfolia Wedd., *Hist.*, p. 38, t. 4 *bis*, B. — C. lancifolia var. η Mutis, l. c., p. 24.

β. *stupea* [12]. — C. stupea Pav., in. How. *Illustr.*, cum icon.

C. LANCEOLATA [13] Ruiz et Pav., *Fl. Peruv.*, 2, p. 51, et 3, p. 1, t. 223; How., l. c., cum icon.; G. Planch., l. c., p. 93. — C. lancifolia β lanceolata, DC., l. c.

Ramus C. — *Lancifoliæ*.

C. LANCIFOLIA [14] Mutis, in *Periodico de Santa Fe*, ann. 1793, p. 465 ; et in Markham, l. c., p. 18, exclus. var. ; Humb., in *Mag. d. Ges. Nat. Fr. Berl.*, ann. 1807, p. 116 ; DC., l. c., p. 352; G. Planch., l. c., p. 94 ; Karst., *Fl. Columb.*, 1, fasc. 1, p. 28, t. 11 et in Markham, l. c., p. 52, cum icon. ; How., in *Rep.*, etc., p. 218. — C. Condaminea δ lancifolia Wedd., *Hist.*, p. 38, t. 5. — C. angustifolia Ruiz et Pav., *Suppl.*, p. 14.

α *vera* [15] How., l. c., p. 220.

β. *rubra* [15 *bis*]. — C. lancifolia « Red variety » How., passim. — « Quinq. rouge de Mutis » Del. et Bouch., *Quinol.*, p. 36, non Mutis nec alior.

γ *obtusata* [15 *ter*] Karst., *Med. Chinarind.*, p. 36; How., l. c.

δ *Calisaya* [16].

ε *discolor* [17] Karst., *Fl. Columb.*, l. c., p. 22, t. 12.

* C. Forbesiana [18] How., in *Rep.*, etc., p. 199; *Quinol. of East. Ind. pl.*, p. 37*.

C. amygdalifolia [19] Wedd., *Hist.*, p. 45, t. 6; G. Planch., l. c., p. 106.

I. — Stirps Cinch. rugosæ.

Ramus A. — *Eurugosæ*.

C. Pitayensis [20] Wedd., in *Ann. sc. nat.*, 3e sér., t. XI, p. 269; G. Planch., l. c., p. 101; How., in *Rep.*, etc., p. 216. — C. Condaminea, var. Pitayensis Wedd., *Hist.*, p. 38.

α *colorata* [20].

β *Trianæ* [21]. — C. Trianæ Karst., *Fl. Columb.*, 1, fasc. 2, p. 45; Markham, l. c., p. 50, cum icon.

γ *pallida* [21].

δ *Almaguerensis* [21 *bis*] Rampon, in G. Planch., l. c., p. 103; How., l. c., p. 218.

* C. corymbosa [22] Karst., l. c., fasc. 1, p. 19, t. 10; Markham, l. c., cum icon.

C. rugosa [23] Pav., in How. *Illustr.*, cum icon. — C. Mutisii, var. rugosa, G. Planch., l. c., p. 133.

β *crispa* [23 *bis*]. — C. Mutisii, var. crispa Wedd, *Hist.*, t. 22, A; G. Planch., l. c., p. 132 — C. parabolica Pav., in How. l. c., cum icon. — C. quercifolia β crispa Pav., mscr., ex Lamb.

C. Mutisii [24] Lamb., *Illustr. gen. Cinch.*, p. 9, excl. syn. *Fl. Peruv.*; Wedd., *Hist.*, p. 69 (excl. var. β), t. 22, B. — C. microphylla Mutis, mscr., secund. Zea, fide Lamb., l. c.; Pav.; in How., l. c., cum icon. — C. quercifolia Pav., mscr., in hb. Lamb.

C. hirsuta [25] Ruiz et Pav., *Fl. péruv.*, 3, p. 51, t. 192; Lamb., l. c., p. 10; Wedd., *Hist.*, p. 70, t. 21, B; How., l. c.; G. Planch., l. c., p. 134. — C. cordifolia β Rhode, *Monogr.*, p. 59. — C. pubescens γ hirsuta, DC., *Prodr.*, 4, p. 353.

Ramus B. — *Pahudianæ*.

C. Carabayensis [26] Wedd., in *Ann. sc. nat.*, 3e sér. 10, p. 9; *Hist.*, p. 67, t. 19.

C. Pahudiana [27] How., *Illustr.*, cum icon.; G. Planch., l. c., p. 127.

C. asperifolia [28] Wedd., in *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 7; *Hist.*, p. 66, t. 20.

C. UMBELLULIFERA [28] Pav., in How. *Illustr.*, cum icon.; G. Planch., l. c., p. 127.

C. GLANDULIFERA [29] Ruiz et Pav., l. c., t. 224; DC., l. c., p. 354; Wedd., l. c., p. 65, t. 21, A; How., l. c., cum icon.

C. HUMBOLDTIANA [30] Lamb., *Illustr. gen. Cinch.*, p. 7, non Rœm. et Schult.; Wedd., *Hist.*, p. 67, t. 10, B; G. Planch., l. c. p. 125. — C. villosa Pav., mscr.; Lindl., *Fl. med.* p. 422; How., *Illustr.*, cum icon.

β *conglomerata* [30 *bis*] Pav., in How., l. c., cum icon.; G. Planch., l. c., p. 126.

III. — STIRPS CINCH. MICRANTHÆ.

Ramus A. — *Scrobiculatæ.*

C. AUSTRALIS [31] Wedd., in *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 7; *Hist.*, p. 48, t. 8; G. Planch., l. c., p. 114.

C. SCROBICULATA [32] Humb. et Bonpl., *Pl. équin.*, 1, p. 165, t. 47; DC., l. c., p. 352; Wedd., l. c., p. 42; G. Planch., l. c., p. 104.

β *Delondriana* [32] Wedd., l. c., t. 7; C. Delondriana ejusd., in *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 7.

C. PERUVIANA [33] How., *Illustr.*, cum icon.; G. Planch., l. c., p. 109. — C. Peruviana α vera How., in *Rep.*, etc., p. 205.

C. NITIDA [34] Ruiz et Pav., *Fl. Peruv.*, 2, p. 50, t. 191; Wedd., *Hist.*, p. 47, t. 10, A; How., *Illustr.*, cum icon.; G. Planch., l. c., p. 106. — C. lancifolia α nitida DC., l. c. — C. peruviana β nitida How., in *Rep.*, etc., p. 205.

Ramus B. — *Eumicranthæ.*

C. MICRANTHA [35] Ruiz et Pav., l. c., t. 194; DC., l. c., p. 354; Wedd., *Hist.*, p. 52; How., *Illustr.*, cum icon.; Planch., l. c. p. 111.

α *Huanucensis* [36]. — C. micrantha Ruiz et Pav., l. c. — C. Peruviana γ micrantha How., in *Rep.*, etc., p. 208.

a. *albiflora* [36].

b. *roseiflora* [36].

β *Reicheliana* [37] How., *Illustr.*, cum icon.

γ *affinis* [36]. — C. affinis Wedd., in *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 8. — C. micrantha β oblongifolia Wedd., *Hist.*, p. 52, t. 15. — C. micrantha How., in *Rep.*, etc., l. c.

δ *calisayoides* [38].

ε *rotundifolia* [39]. — C. micrantha α rotundifolia Wedd., l. c., t. 14; How., l. c.

IV. — Stirps Cinch. Calisayæ.

C. Calisaya [40] Wedd., in *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 6; *Hist.*, p. 30; G. Planch., l. c., p. 71.

α *vera* [41] Wedd., l. c.

a. *glabra*.

b. *pubera* [41].

β *microcarpa* [42].

γ *Boliviana* [43]. — C. Boliviana Wedd., in *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 7; *Hist.*, p. 50, t. 9, A. — C. Calisaya, var. morada G. Planch., l. c., p. 75.

a. *glabra*.

b. *pubescens* [43].

δ *oblongifolia* [44].

ε *pellida* [45].

C. Josephiana [46]. — C. Calisaya β Josephiana Wedd., l. c., p. 31; G. Planch., l. c., p. 74.

a. *glabra* (Wedd., l. c., t. 3 *bis*, B).

b. *pubescens* [46].

c. *discolor* [46]. — C. Boliviana Wedd., l. c., pro parte, t. 9, B.

C. elliptica † [47].

V. — Stirps Cinch. ovatæ.

Ramus A. — *Succirubræ*.

C. purpurea [48] Ruiz et Pav., *Fl. Peruv.*, 2, p. 52, t. 193; Lamb., *Illustr. gen. Cinch.*, p. 6; DC., *Prodr.*, 4, p. 353; How., *Illustr.*, cum icon.; ejusd., in *Rep.*, etc., p. 212. — C. pubescens β purpurea Wedd., *Hist.*, p. 54. — C. cordifolia, var. α Mutis, l. c., p. 29, excl. syn.

C. rufinervis [49] Wedd. in *Ann. sc. nat.*, 3e sér., 10, p. 8; *Hist.*, t. 12. — C. ovata β rufinervis, ejusd., l. c., p. 60; G. Planch., l. c., p. 119.

C. SUCCIRUBRA [50] Pav., mscr.; Klotzsch, in *Abhandl. d. Kön. Ak. d. Wissensch.*, Berl., ann. 1858, p. 60; How., *Illustr.*, cum icon.; in *Rep.*, etc. p. 214; G. Planch., l. c., p. 122. — C. cordifolia, var. ε Mutis, in Markham, l. c., p. 31 (monente cl. How., in adnot.).

C. ERYTHRODERMA [51]. — C. ovata γ erythroderma, Wedd., l. c.

* C. ROSULENTA [52] How., in litt. — C. cordifolia, var. β Mutis, in Markham, l. c., teste Triana.. — « Quinquina Carthagène rosé » Del. et Bouch., *Quinol.*, p. 37. — « Quinquina à quinidine » Rampon, in G. Planch., l. c., p. 99.

* C. ERYTHRANTHA [10] Pav., in How. l. c., cum icon.; G. Planch., l. c., p. 80.

Ramus B. — *Euovatæ.*

C. OVATA [53] Ruiz et Pav., *Fl. peruv.*, 2, p. 52, t. 195; Wedd., *Hist.*, p. 60; How., *Illustr.*, cum icon.; G. Planch., l. c., p. 119. — C. pubescens Lamb., l. c., p. 6. — C. pallescens Ruiz, ap. Vitm., ex DC., *Prodr.*, 4, p. 353; How., in *Rep.*, etc., p. 218. — C. pubescens β ovata DC., l. c. — Casc. palido Ruiz, *Quinol.*, p. 74. — C. rubicunda Tafalla?

α *genuina* [54]. — C. pallescens β ovata How., in *Rep.*, etc., l. c.

β *vulgaris* [55]. — C. ovata α Wedd., l. c., t. 11; G. Planch., l. c., p. 119.

γ *pallescens* [56]. — C. pallescens α vera How., l. c.

* C. PALALBA [57] Pav., mscr., ex DC., in *Bibl. univ.*, l. c.; *Prodr.*, l. c., p. 355; Wedd., *Hist.*, p. 71; How., *Illustr.*, cum icon. — C. cordifolia var. δ Mutis, in Markham, l. c., p. 30.

Ramus C. — *Cordifoliæ.*

C. CORDIFOLIA [58] Mutis, mscr., ex Humb., in *Mag. d. Ges. Fr. Berl.*, ann. 1807, p. 117; in Markham, l. c., p. 27; Lamb., *Illustr.*, p. 4; Karst., *Fl. Columb.*, 1, fasc. 1, p. 15, t. 8; et in Markham, cum icon.; How., in *Rep.*, etc., p. 214.

* C. LUTEA [59] Pav., in How. *Illustr.*, cum icon. — C. cordifolia, G. Planch., l. c., p. 128.

* C. PLATYPHYLLA [60]. — *C. cordifolia* Wedd., *Hist.*, p. 37, t. 17, excl. syn. et var. — C. cordifolia δ Peruviana, Karst., l. c. — C. ovata, var. cordata How., in *Rep.*, etc., p. 214.

* C. SUBCORDATA [61] Pav., in How. *Illustr.*; G. Planch., l. c., p. 130.

C. ROTUNDIFOLIA [62] Pav., in Lamb., l. c., p. 5. — C. cordifolia β rotundifolia Wedd., l. c., p. 37; G. Planch., l. c., p. 128.

C. TUCUJENSIS [63] Karst., l. c., t. 9; Markham, l. c., p. 59, cum icon.

C. PUBESCENS [64] Vahl, in *Act. Soc. hist. nat. Hofn.*, 1, p. 19, t. 2; Lamb., l. c., p. 6; DC., l. c., excl. var.; Wedd., l. c., p. 54, excl. var.; How., l. c.

* C. PELLETIERIANA [64] Wedd., in *Ann. sc. nat.*, l. c.; How., in *Rep.*, etc., p. 212. — C. pubescens, var. Pelletieriana Wedd., *Hist.*, p. 54, t. 16; Planch., l. c., p. 115.

* C. OBOVATA [65] Pav., in How. *Illustr.* — C. discolor Klotzsch, (teste Howard), in Walp., *Repert.*, 6, p. 65.

* C. VIRIDIFLORA [66] Pav., in How., l. c.

C. PURPURASCENS [67] Wedd., *Hist.*, p. 59, t. 18.

* C. DECURRENTIFOLIA [68] Pav., in How. *Illustr.*, cum icon.; Planch., l. c., p. 131.

C. CHOMELIANA [69] Wedd., *Hist.*, p. 64, t. 13.

C. BARBACOENSIS [70], Karst., *Fl. Columb.*, 1, fasc. 2, p. 147, t. 28; Markham, l. c., p. 61.

N. B. — Les *Notes spéciales* seront données dans le volume suivant.

MORÉES ET ARTOCARPÉES DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE,

Par M. E. BUREAU.

INTRODUCTION

L'intérêt que présente la végétation si curieuse de la Nouvelle-Calédonie m'engage à extraire du travail que je prépare pour le *Prodromus* la description des Morées et Artocarpées recueillies jusqu'ici dans cette île.

Les matériaux que j'ai eus à ma disposition pour ce fragment de flore sont nombreux et d'une grande valeur. MM. Brongniart et Gris, dont les études spéciales sur les plantes de cette contrée sont connues et appréciées de tous les botanistes, ont eu l'obligeance de me communiquer les Artocarpées et Morées des riches collections néo-calédoniennes rassemblées au Muséum. M. Lenormand a bien voulu m'envoyer les nombreuses espèces qui font partie de son bel herbier. M. Vieillard m'a confié celles qu'il a rapportées de son voyage. J'ai pu étudier, grâce à M. Aubry-Lecomte, directeur du musée des colonies, l'herbier de la Nouvelle-Calédonie qui fait partie des collections de cet établissement. Enfin j'ai vu un certain nombre d'échantillons du même pays dans l'herbier Delessert et dans celui de M. Alph. De Candolle.

La plupart de ces plantes ont été recueillies par MM. Vieillard, Deplanche et Pancher, et sont répandues dans plusieurs des herbiers dont je viens de parler. Quelques-unes cependant ne se trouvent que dans une seule collection : telles sont plusieurs espèces provenant des beaux envois de M. Balansa, qui n'existent qu'au Muséum d'histoire naturelle. J'ai soigneusement indiqué l'herbier où j'ai observé chaque plante, afin qu'on puisse vérifier plus facilement l'exactitude, soit des déterminations, soit des descriptions.

Le groupe des Morées et Artocarpées présente à la Nouvelle-Calédonie sept genres, dont trois pour les Morées et quatre pour les Artocarpées ; mais le genre *Ficus* contient à lui seul à peu près quatre fois autant d'espèces que tous les autres réunis.

J'ai dû remanier profondément les genres *Malaisia*, *Fatoua* et *Cudrania*. Chacun des deux premiers ne renferme, à mon avis, qu'une seule espèce, et il en est de même du genre *Pseudomorus*, que j'ai fondé sur une partie des Mûriers à périgone de la fleur femelle non accrescent. Dans le genre *Cudrania*, j'ai réuni aussi plusieurs espèces nominales en une seule.

Aux botanistes qui seraient disposés à penser que cette réunion a peut-être été poussée trop loin, je ferai remarquer qu'à l'époque où les différentes espèces de *Malaisia*, de *Fatoua*, etc., ont été créées, il n'existait dans les herbiers qu'un très-petit nombre d'échantillons de plantes appartenant à ces genres. On était, à cause de cela, frappé bien plus par les différences que par les analogies, et disposé à accorder à certains caractères une valeur spécifique, alors qu'on n'avait sous les yeux que des modifications légères et purement individuelles.

Aujourd'hui les collections se sont enrichies de manière à présenter tous les intermédiaires possibles entre les formes anciennement connues, et l'on est bien forcé de réunir ce qui autrefois était regardé comme distinct. Je suis très-convaincu qu'en présence des matériaux actuels, les auteurs recommandables qui ont établi les espèces dont je parle n'agiraient pas autrement que je le fais.

Ce que je signale aujourd'hui pour les Artocarpées et Morées se présente dans une foule d'autres groupes. Il y a un nombre considérable d'espèces fondées sur des caractères que l'examen d'échantillons nouveaux vient démontrer insuffisants ; c'est là, ainsi que la constatation de beaucoup de genresm éconnus, un des résultats principaux qui ressortent de l'étude actuelle des grands herbiers.

Je ne serais pas étonné, à en juger d'après ce que j'ai vu, qu'il y eût dans la botanique exotique presque autant d'espèces anciennes à supprimer que d'espèces nouvelles à créer. Recher-

cher les vrais caractères spécifiques, les mettre en lumière et les dégager de ces caractères illusoires qu'on peut appeler les caractères d'échantillons, doit être, à mon avis, pour le botaniste descripteur, une préoccupation constante, surtout lorsqu'il étudie des groupes tropicaux, et qu'il est réduit à travailler sur la nature morte. Peut-être un jour viendra-t-il où la culture des plantes exotiques d'étude nous rendra des services que nous lui demanderions vainement aujourd'hui. On pourra alors élucider beaucoup de points, qui jusqu'à ce moment resteront obscurs; mais, en attendant, bien des rectifications pourront être faites par l'étude des herbiers nouveaux, et grâce à l'augmentation du nombre des échantillons dans les musées et à la diversité de leurs provenances.

Ce serait une grande erreur de regarder une telle étude comme peu importante; c'est avec les bonnes espèces qu'on fait les bons genres, et c'est le genre qui constitue, si je puis ainsi dire, l'unité mise en jeu dans les comparaisons et les groupements divers qui ont pour résultat le perfectionnement de la méthode et de la classification naturelle. D'où il résulte logiquement que l'examen approfondi de l'espèce est la base même de l'étude des affinités, de cette branche de la science des végétaux que nous avons le droit et que nous pouvons être fiers d'appeler la *botanique française.*

Cet ordre de travaux demande aujourd'hui, plus que jamais, encouragement et protection. S'il a donné dans notre pays des résultats si grands, c'est que nul n'est mieux approprié à la nature de l'esprit français. Il convient certes de donner libre accès au courant qui nous vient d'Allemagne ; mais nous ne devons pas le laisser envahir la France entière. Tant que la méthode naturelle n'aura pas dit son dernier mot, il sera bon que des travailleurs s'attachent à l'œuvre nationale ; qu'ils cherchent, comme l'auraient fait les maîtres eux-mêmes, à l'améliorer et la perfectionner sans cesse, en appliquant à la confirmation des affinités reconnues et à la recherche d'affinités nouvelles les moyens dont nous disposons aujourd'hui ; je citerai en particulier l'examen de la structure intime et du mode de déve-

loppement des organes. Or, il est impossible d'entrer dans une telle voie, si l'on n'a pour point de départ l'étude, et je dirai même l'étude minutieuse des espèces.

Ces considérations m'ont entraîné un peu loin de la Nouvelle-Calédonie ; mais je ne les regrette pas, si elles peuvent être utiles, et je reviens à mon sujet en disant que cette réunion d'espèces anciennes dont j'ai parlé m'a engagé à donner une synonymie aussi complète que possible et des descriptions de formes qui n'appartiennent pas à la Nouvelle-Calédonie. Ces descriptions m'ont paru nécessaires pour compléter l'histoire de l'espèce telle que je la comprends, et pour bien faire saisir la position de la forme néo-calédonienne dans la série des variétés.

Au point de vue de la géographie botanique, les Morées et Artocarpées de la Nouvelle-Calédonie confirment les faits déjà reconnus pour d'autres familles : on trouve parmi ces plantes un mélange de formes indiennes, australiennes, polynésiennes, mêlées à des types tout à fait spéciaux, et qui s'écartent même notablement des genres avec lesquels ils ont l'analogie la plus prochaine.

Ainsi le genre *Malaisia* se retrouve aux îles Viti, à la Nouvelle-Hollande, dans l'archipel Indien et jusqu'en Chine.

Le *Morus Brunoniana*, qui devient le type d'un genre nouveau, habite, avec des formes diverses, l'île de Norfolk, les îles Sandwich et l'Australie.

Le genre *Fatoua* existe aux Moluques et au Japon, mais manque en Australie.

Enfin, le *Cudrania javanensis* a une extension plus considérable, puisqu'il se trouve, sans modification bien appréciable, depuis la Nouvelle-Hollande jusque dans l'Inde et au Japon.

A côté de ces formes, présentant une grande extension géographique, se trouve un genre spécial et très-intéressant, puisque c'est le genre le plus voisin des *Ficus* que l'on connaisse jusqu'ici, bien que les différences soient encore assez profondes. Je l'ai appelé *Sparattosyce* (figue déchirée), pour indiquer un de ses caractères les plus remarquables. Les fleurs mâles et les fleurs

femelles sont renfermées dans des réceptacles distincts; les étamines sont extrorses, et les styles sortent longuement par l'ouverture supérieure du réceptacle femelle, par ce qu'on peut appeler l'œil de la figue. A la maturité, tous ces réceptacles se déchirent de haut en bas, s'étalent et prennent à peu près l'apparence de réceptacles de *Dorstenia*. Rien jusqu'ici, dans l'immense groupe des Artocarpées, ne donnait l'idée d'une semblable organisation.

Quant aux vrais *Ficus*, les uns se retrouvent dans l'Inde ou dans l'archipel Indien, d'autres dans quelques îles de la Polynésie, d'autres enfin en Australie, et, parmi les espèces nouvelles qui sont nombreuses, la plupart viennent se placer près de types appartenant à l'une des régions que je viens d'indiquer.

Les descriptions suivantes éclairciront et compléteront suffisamment, je l'espère, ce qui pourrait manquer à cette introduction.

MOREES.

MALAISIA. Blanco, *Flor. de Filip.*, éd. 1 (1837), p. 789; éd. 2 (1845), p. 543; Planchon, *Ann. sc. nat.*, 4° sér., III, p. 293; Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 75; Miq., *Flor. Ind. bat.*, 1, pars 2, p. 281.

Dumartroya Gaudich., *Voy. de la Bonite*, t. 97.

Cephalotrophis Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 75, t. XXVII; Miq., *Flor. Ind. bat.*, pars 2, p. 281.

Caturi sp. Lour., *Fl. Cochinch.*, éd. 1 (1790), p. 612, et éd. 2 (1793), p. 751.

Trophidis sp. Hook. et Arn., *Bot. of capt. Beechey's Voy.*, p. 214.

Mori sp. Blum., *Bijdr.*, p. 488.

La description la plus complète de ce genre se trouve dans Blume ; mais elle est inexacte en ce qui concerne la graine, et doit être rectifiée de la manière suivante :

Semen ex apice loculi pendulum, globulosum ; testa papyracea. *Embryo* inversus ; radicula supera, breviuscula, obtusa ; cotyledones orbiculares, basi auriculatæ, valde inæquales, altera maxima, facie externa convexa, sæpius in longitudinem pluricostata, imo dorso obtuse lobata, facie interna concava et alteram cotyledonem minimam, dorso concavam, amplectente. *Albumen* gelatinosum concavitate magnæ cotyledonis latitans, hujusque totam longitudinem, vix autem tertiam latitudinis partem tenens.

MALAISIA TORTUOSA Blanco.

Cephalotrophis javanica Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 75, t. XXVII ; Miq., *Fl. Ind. bat.*, 1, pars post., p. 281.

Les espèces de *Malaisia* décrites dans divers auteurs ne constituent, à notre avis, que de simples modifications d'une même espèce. Les descriptions du *Cephalotrophis javanica* données par Blume et Miquel sont les seules qui comprennent ces différentes formes. Nous rapporterons les autres synonymes aux variétés auxquelles ils appartiennent.

α. racemosa, foliis parvis, ellipticis, oblongis, basi cuneatis, apice acutis, rarius obtusis ; capitulis femineis pedicellatis vel subsessilibus, secus rachin axillarem dispositis.

Malaisia tortuosa Blanco, *Flor. de Filip.*, éd. 1 (1837), p. 789, éd. 2 (1845), p. 543 ; Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 75 ; Planchon, *Ann. sc. nat.*, 4ᵉ sér., III, p. 294 ; Miq., *Flor. Ind. bat.*, 1, pars 2, p. 282.

Exs. Manille, *Cumming*, n. 1314 (herb. Mus. par., Deless., Candoll., Boissier). — Queensland, Australie, *Ferd. Mueller*, sub nom. *Malaisia Cunninghami* (herb. Mus. par.).

β. acuminata, foliis ovato-lanceolatis, basi obtusis, apice

sensim attenuatis, acutis ; capitulis femineis pedicellatis et secus rachin axillarem dispositis.

Malaisia acuminata Planch., l. c.

Exs. Clarence river, Australie, *Ferd. Mueller* (herb. Mus. par.).

γ. *viridescens*, foliis ellipticis, ovato-oblongis vel obovato-oblongis, basi obtusis vel cuneatis, apice obtusis vel brevissime acuminatis ; capitulis femineis axillaribus, solitariis vel pluribus, in umbellam dispositis, pedunculo communi brevissimo vel subnullo.

Malaisia viridescens Planch., l. c., p. 293, et M. Cunninghami Planch., l. c., p. 294.

Exs. Nouvelle-Hollande, Morton-bay, octobre 1843, *Leichhardt* (herb. Mus. par.). — Nouvelle-Calédonie, *M'Gillivray* (herb. Candoll.). — Nouvelle-Calédonie, *Deplanche*, n. 174 (herb. Mus. par.). — Sarmenteux. Balade, 1855-60, *Vieillard*, herb. de la Nouvelle-Calédonie, n. 1208 (herb. Mus. par., mus. colon. et Lenormand). — Gatape, 1867, 1868, *Vieillard*, herb. de la Nouvelle-Calédonie, n. 1208 (herb. Vieillard et Lenormand). — Nouvelle-Calédonie, *Pancher*, n. 413. Tige grimpante, longue de 10 à 12 mètres. Fl. en octobre (herb. Mus. par. et mus. colon.). — Arbrisseau de 3-4 mètres de hauteur ; bosquets des environs de Nouméa, Nouvelle-Calédonie, septembre-octobre 1868, *Balansa*, n. 620 (herb. Mus. par.). — Plante grimpante. Bourail, Nouvelle-Calédonie, dans les bois, mars-avril 1869. Fruct. *Balansa*, n. 1042 (herb. Mus. par.). — Timor, *Cephalotrophis javanica* Bl., *Trophis coccinea* Zp. Communic. ex herbario lugduno-batavo (herb. Mus. par. et Candoll.).

δ. *scandens*, foliis ellipticis vel oblongis, basi subcordatis, apice in caudam brevem abrupte contractis. Inflorescentia feminea ut in varietate γ.

Malaisia scandens Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 76; Planch., l. c., p. 293.

Caturus scandens Lour., *Flor. coch.*, éd. 1, p. 612, et éd. 2, p. 751.

Trophis scandens Hook. et Arn., *Bot. of. capt. Beechey's Voy.*, p. 214.

Morus javanica Blume, *Bijdr.*, p. 488.

Dumartroya fagifolia Gaudich., *Voy. Bonite*, t. XCVII.

Exs. Hort. bot. calc. e China introd. Voyage de *Gaudichaud* sur la Bonite, 1836-37.— Calcutta. Plantes données par *Wallich*, n. 457 (herb. Mus. par.). — Hort. bot. calc. e China a D° *Reever* miss. Comp. angl. des Indes. *Morus?? scandens* Wall., *Cat. Wall.*, n. 4652 (herb. Deless. et Candoll.). — Chine, mars-mai 1837. Plantes récoltées par M. *Calléry*, missionnaire français à Macao (herb. Mus. par. et Deless.). — Canton, Chine. *Trophis scandens* Hook. et Arn.," *Walker Arnott*, 1836 (herb. Deless.). — Moha Hills, China, *Park*, n. 137 (herb. Candoll.). — Java, *Leschenault* (herb. Mus. par.). — Java, *Zollinger*, n. 708 (herb. Deless., Candoll. et Boissier). — Viti or Fiji Islands, coll. by *Seemann* in 1860, n. 434 (herb. Candoll.).

PSEUDOMORUS.

Mori spec. Endl., *Prodr. Fl. Norfolk*, p. 40 ; *Atakta bot.*, p. 32.

Strebli spec. Ferd. Muell., *Fragm. phyt. austr.*, 6, p. 192.

Flores masculi et feminei in amenta distincta congesti. MASC. *Perigonium* 4-fidum, lobis æstivatione imbricatis. *Stamina* 4 lobis opposita ; filamenta æstivatione inflexa, demum explicata, exserta ; antheræ subglobosæ, introrsæ, 2-loculares, loculis rima longitudinali dehiscentibus. *Rudimentum ovarii* centrale obpyramidatum. FEM. *Perigonium* 4-partitum, laciniis æstivatione imbricatis. *Ovarium* ovatum, glabrum, 1-loculare ; ovulum e summo pariete pendulum, micropyle supera. *Stylus* quasi nullus ; stigmata 2 lineari-subulata, facie interiore papilloso-pubescentia. *Drupeola* stigmatibus coronata, calyce non accrescenti basi stipata ; epicarpium tenuissimum, læve, mesocarpium carnosum, endocarpium crustaceo-sublignosum. *Semen* pendulum, subglobosum ; testa membranacea, lævis. *Embryo* globoso-subcompressus, cotyledonibus semi-globosis, crassis subæqualibus, facie plana applicatis, radicula subulato-cylindrica, cotyledonibus breviore dorsoque cotyledonis superioris incumbente. *Albumen* parcissimum vel subnullum ex utroque radiculæ latere nidulans.

Arbor monoi-dioica (1) lactiflua, interdum excelsa, jam statu fruticoso florens, Polynesiam et Australiam incolens, multiformis. Folia alterna, petiolata. Stipulæ subscariosæ, amplexicaules, caducæ. Amenta axillaria, solitaria, plus minus pedunculata, pedunculo et rhachi bracteis minimis peltatis sparsis.

Ce genre diffère du genre *Morus* : par le calice toujours membraneux, même lorsqu'il accompagne le fruit ; par l'albumen presque nul et n'existant que sur les côtés de la radicule ; par l'embryon à grands cotylédons épais, semi-globuleux, et par un port bien distinct.

Pseudomorus Brunoniana, ramosa, ramis ultimis pubescentibus, foliis amplitudine et forma mirum in modum variantibus, integris, serratis vel lobatis, supra lævibus vel scabris, subtus scaberulis vel scabris, secus nervos puberulis, petiolis pubescentibus, stipulis ovato-lanceolatis vel lanceolatis, puberulis, ramum amplectentibus, mox caducis et cicatricem annularem relinquentibus ; amentis axillaribus solitariis, sed gemma laterali minima comitatis in ramusculum nonnunquam evoluta ; floribus perigonio pubescenti, masculis lobis ovato-triangulatis, obtusis, femineis laciniis ovatis vel subrotundatis, obtusissimis ; ovario ovato ; fructu globoso, perfecta maturitate succulento, flavo vel atro-rubro ; semine globoso-subcompresso.

Amenta mascula 2-4 centim. longa (nunquam vidi 1/2-1 pedem longa, ut dicit Endlicher), pedunculo 3-25 millim. longo sustenta, feminea 5 millim.-2 cent. longa. Flores ad apicem inflorescentiæ magis evoluti.

α. pendulina, foliis basi obtusissimis vel subcordatis, apice attenuato-acuminatis, acumine acuto vel subacuto, margine crebre et acute serratis, nervis secundariis magis approximatis quam in aliis formis, patentissimis, interdum subtransversis.

Complectitur formas sequentes :

Subvar. *castaneæfolia*, foliis lanceolatis, nervis secundariis ex utroque nervi medii latere 12-16.

(1) Monoï-dioïque, d'après les notes manuscrites de M. Pancher. Les nombreux échantillons que j'ai vus sont tous unisexués.

Foliorum petiolus 5-8 millim. longus, limbus 7-13 centim. longus, 2 1/2-4 centim. latus.

Constat e duobus variationibus :

Variatio *scabra*, foliis rigidis, utrinque scabris.

Morus pendulina F. Bauer, *Illustr. plant. Norfolk*, t. 186, ined.; Endl., *Prodr. Norfolk* (1833), p. 40, n. 84.

Boehmeria castaneæfolia Cunn., ms. in herb. Candoll.

Exs. Norfolk Island, *Al. Cunningham*, n. 30 (herb. Candoll. et Boissier). — Norfolk Island, herb. donné par MM. *Hooker* et *Thomson*, 1859 (herb. Mus. par.). — Legit in eadem insula, ad sinum Ansonis, mens. aug. et sept. florentem, *F. Bauer*, ex Endl.

Variatio *lævis*, foliis membranaceis supra lævibus, subtus vix asperulis.

Exs. Iles Sandwich, Kauai, *Remy*, n° 205 (herb. Mus. par.).

Subvar. *ovalifolia*, foliis ovatis, supra lævibus, subtus asperulis, nervis secundariis ex utroque nervi medii latere 9-11.

Foliorum petiolus 4-5 millim. longus, limbus 3 1/2-6 1/2 longus, 18-34 millim. latus.

Exs. Bois au-dessus de Koo, Hawai, îles Sandwich, 1er juillet 1853, *Remy*, n. 204 (herb. Mus. par.).

β. *australiana*, foliis membranaceis, ellipticis vel subrhombeo-ellipticis, basi attenuatis, apice attenuato-acuminatis, acumine acuto vel subacuto, margine serratis, dentibus minimis distantibus, supra lævibus, subtus scabris, nervis secundariis ex utroque nervi medii latere 8-10, ascendentibus arcuatis vel subarcuatis.

Morus Brunoniana Endl., *Atakta bot.* (1833), p. 32.

Streblus Brunoniana F. Mueller, *Fragm. phyt. austr.*, 6, p. 192.

Foliorum petiolus 4-5 millim. longus, limbus 4-8 centim. longus, 2-3 centim. latus.

Exs. Clarence riv., Rockingham-bay et Rockampton, Australie

F. Mueller (herb. Mus. par.). — Morton-bay, Nouvelle-Hollande, *Leichhardt* 1845 (herb. Mus. par.).

Obs.— D'après M. F. Mueller, les feuilles de cette plante sont nuisibles aux Vers à soie, et les indigènes se servent du bois, qui est résistant, pour faire les sortes de javelots courbes qu'ils nomment *boomerang*.

γ. *obtusata*, foliis membranaceis vel rigidiusculis, ovatis, ellipticis vel subrhomboidalibus, plerumque basi et apice attenuatis, summo apice obtuso vel subobtuso, margine integris vel sinuato-crenulatis, supra lævibus, subtus lævibus, asperulis vel scabris, nervis secundariis ex utroque nervi medii latere 7-12 patentibus, subrectis.

Frutex 3-4 metr., monoicus vel dioicus ex Pancher et Deplanche ms. Foliorum petiolus 2-5 millim. longus, limbus 2-7 1/2 centim. longus, 1-3 1/2 centim. latus.

Exs. Kanala, Nouvelle-Calédonie, *Deplanche*, n° 103 (herb. Mus. par., Candoll., Vieillard et Lenormand). — Gatape, *Vieillard*, herb. de la Nouvelle-Calédonie, n. 3257. Arbuscula 1 metr. alta (herb. Vieillard et Lenormand). — Bourail, Nouvelle-Calédonie, mars 1869, *Balansa*, n. 1044 (herb. Mus. par.). — Ilot madréporique de Siandé, près de l'embouchure de la Néra, Nouvelle-Calédonie, 13 mars 1869, *Balansa*, n° 1043 (herb. Mus. par.). — Touffes de 3 à 4 mètres ; monoïque ou dioïque. Bois sur les coraux soulevés de l'île des Pins. Fl. en janvier, février. *Pancher*, n. 412, et *Deplanche*, n. 180 (herb. Mus. par.).

Subvar. *lobata*, foliis 3-lobatis, rarius 5- vel 7-lobatis, sinubus profundis, lobis obtusis crenulato-denticulatis.

Exs. Arbrisseau monoï-dioïque, haut de 3 mètres. Floraison en mars, bois touffus de l'île des Pins, *Pancher* (herb. Viaud-Grand-Marais). — Nouvelle-Calédonie, *Vieillard*, avec un *Ficus*, sous le n° 1247 (herb. Mus. par., mus. colon. et Vieillard).

Obs. — Des feuilles lobées peuvent se montrer sur des individus et même sur des rameaux qui portent en même temps des feuilles de forme ordinaire. C'est ce qu'on voit sur le n° 3257 de M. Vieillard.

FATOUA Gaud., *Voy. Freycinet*, p. 509 ; id., *Voy. Bonite*, tab. 84 ; Decne, *Herb. timor.*, p. 164 ; Blum., *Mus. bot. lugd.*-

bat., 2, t. XXXVIII; Miq., *Flor. Ind. bat.*, 1, pars 2, p. 282; id., *Ann. Mus. bot. lugd.-bat.*, 3, p. 192.

Urticæ spec. Thunb., *Flor. jap.*, p. 70.

Fleuryæ spec. Miq., in *Zoll. Cat.*, p. 103, et *Flor. Ind. bat.*, 1, pars 2, p. 229.

FATOUA PILOSA, ramis adultis glabris, junioribus petiolisque pube dimorpha vestitis, pilis aliis confertis, minimis, aliis discretis, multo longioribus, patentibus; foliis membranaceis, margine duplicato-crenato-dentatis, basi trinervibus, utrinque pilosis et asperis.

Planta herbacea, basi sæpe sublignosa. Folia ovata, ovato-lanceolata vel lanceolata, basi obtusa, cordata vel cuneata, apice acuta vel summo apice obtusata, utrinque pilis inæqualibus caducis et basin tuberculiformem relinquentibus, supra discretis, subtus magis confertis sparsa, nervis majoribus præterea pilis minimis ramulorum instar subtomentosis. Stipulæ herbaceæ, triangulatæ vel lanceolatæ, acutæ, pilosæ. Peduunculus inflorescentiæ gracilis pubescens, petiolo brevior. Perigonium extra pilosum, floris masculi laciniis ovato-lanceolatis, feminei ovatis. — Flores aliquot inveniuntur androgyni, stamine unico rite evoluto sub ovario inserto.

α. *lanceolata*, foliis superioribus lanceolatis, plerumque basi obtusis, inferioribus ovatis, basi subcordatis.

Fatoua lanceolata Decne, *Herb. timor.*, p. 492; Gaudich., *Voy. Bonite*, t. LXXXIV, f. 3.

Urtica manillensis Walpers ex Meyen in herb. Mus. par.; sed hoc nomen apud Walpers non inveni.

Exs. Timor, *Leschenault* (herb. Mus. par.). — Manille, *Meyen* (herb. Mus. par.).

β. *subcordata*, foliis ovatis, basi subcordatis vel cuneatis.

Fatoua subcordata Gaudich., *Voy. Bonite*, t. LXXXIV, f. 2.

Urtica japonica Thunb., *Flor. jap.*, p. 70.

Fatoua japonica Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, t. XXXVIII.

— Fatoua aspera Gaudich., *Voy. Freyc.*, p. 510 ; Miq. *Ann. Mus. bot.-lugd. bat.*, 3, p. 192. — F. pilosa Gaudich., *Voy. Freyc.*, p. 509 ; id., *Voy. Bonite*, t. LXXXIV, f. 1.

Exs. Nouvelle-Calédonie, *Beaudouin*, herb. n. 999 (herb. Bur.). — Ile des Pins, *Deplanche*, herb. de la Nouvelle-Calédonie, n. 523 (herb. Lenormand). — Nagasaki, Japon, *Oldham*, n. 780 (herb. Mus. par.). — Rawak, *Gaudichaud* (herb. Mus. par.).

Obs. — Les échantillons cueillis au Japon par Oldham ont les feuilles presque en cœur à la base, et cependant atténuées en coin près du pétiole. Ils établissent donc un intermédiaire entre le *F. subcordata* de Gaudichaud, à feuilles presque cordiformes, et son *F. pilosa*, à feuilles tout à fait en coin à la base. On trouve, du reste, assez souvent sur un même échantillon les différentes formes de feuilles que nous venons d'indiquer. Un des échantillons de la Nouvelle-Calédonie cueillis par M. Deplanche a les feuilles de la var. β dans le haut, et celles de la var. γ dans le bas.

γ. *cordata*, foliis ovatis, interdum suborbiculatis, basi cordatis.

Subvar. *glechomæfolia*, foliis parvis, petiolo gracillimo, 7 millim. longo, limbo 16-20 millim. longo, 12-20 millim. lato.

Fleurya glechomæfolia Miq., in *Zoll. Syst. Verzeichn. indisch. Archip.*, p. 103 et 106 ; id., *Fl. Ind. bat.*, 1, pars 2, p. 229.

Exs. Java, *Labillardière* (herb. Mus. par.). — Java, *Zollinger*, n. 1874 (herb. Mus. par. et Deless.).

Subvar. *globulifera*, foliis majoribus, petiolo 1 1/2 centim. longo, limbo ad 38 millim. longitudine, 28 millim. latitudine attingente.

Fatoua cordata Gaudich., *Voy. Freyc.*, p. 510.

Parietaria aspera Leschen., ms. in herb. Juss. ; Endl. *Gen. plant.*, suppl. 4, pars 2, p. 34.

Fleurya globulifera Miq., in *Zoll. Syst. Verzeichn. indisch. Archip.*, p. 103 et 106. — Fl. scabra Miq., l. c., excl. syn. Bl.

Exs. Java, *Leschenault* (herb. Mus. par.). — Java, *Zollinger*, n. 2149 (herb. Mus. par.).

ARTOCARPÉES.

ARTOCARPUS, Lin.

Il y a à la Nouvelle-Calédonie une espèce d'*Artocarpus.* Voici ce qu'en disent MM. Vieillard et Deplanche (*Essais sur la Nouvelle-Calédonie*, p. 115, extrait de la *Revue maritime et coloniale*, 1863) : « La Nouvelle-Calédonie possède une espèce » d'Arbre à pain qui nous a paru différer de l'*Artocarpus incisa* » de Taïti. Ses feuilles sont plus larges, moins incisées, et ses » fruits, beaucoup plus petits, renferment toujours un certain » nombre de graines parfaitement développées. Cet arbre est » peu commun, et ne produit qu'une fois par an. » Il faut attendre de nouveaux renseignements pour savoir si c'est une espèce spontanée ou introduite. Je n'en ai pas trouvé d'échantillons dans les herbiers que j'ai parcourus; mais il en existe un individu vivant dans les serres du Muséum. Cette jeune plante n'a malheureusement encore que quelques décimètres de haut, de sorte qu'elle peut bien ne pas présenter tous les caractères qu'elle offrira plus tard, et qu'il est difficile de hasarder une détermination spécifique. Les feuilles sont la plupart entières et quelques-unes avec un lobe sur un des côtés seulement. Il est fort possible que ce soit l'*Artocarpus integrifolia*, dont les feuilles sont parfois un peu lobées. Dans tous les cas, je suis très-disposé à croire, comme MM. Vieillard et Deplanche, que ce n'est pas l'*Artocarpus incisa*.

CUDRANIA, Trecul, *Ann. sc. nat.*, 3e série, VIII (1847), p. 122; Hasskl, *Hort. bogor.*, p. 165; Miq., *Plant. Yunghuhn.*, p. 44.

Cudranus Rumph., *Amboin.*, 5, p. 22; Miq., *Fl. Ind. bat.*, 1, pars post., p. 290, et suppl. 1, p. 423; Thwaites, *Enum. plant. Zeylan.*, p. 262.

Maclura part. Miq., in *Zoll. Cat.*, p. 89; Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 83; Miq., *Fl. Ind. bat.*, 1, pars post., p. 280.

Trophis part. Wall., *Cat.*

Batis Roxb. Wall., *Cat.*

Morus part. A. Cunningh. ms.; Endl., *Gen. plant.*, suppl. 4, pars 2, p. 34.

Cudrania javanensis Trecul, *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 123 (non Wight, *Icon.*, t. 1961). — C. javensis Hasskl, *Hort. bogor.*, p. 165 et 166. — C. indica id., p. 166. — C. obovata, Trec., *Ann. sc. nat.*, l. c., p. 126; Hasskl, l. c., p. 169; Miq., *Pl. Yunghuhn.*, p. 45. — Cudranus bimanus s. javanus Rumph., *Amboin.* 5, p. 22, t. 15. — C. amboinensis sylvestris Rumph., l. c., p. 25, t. 16. — C. amboinensis Miq., *Fl. Ind. bat.*, 1, pars post., p. 290. — C. obovatus Miq., l. c., et suppl. 1, p. 423. — C. Rumphii Thwait., *Enum. plant. Zeylan.*, p. 262.

Maclura javanica Miq., in *Zoll. Cat.*, p. 87; Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 83, t. 31; Miq., *Fl. Ind. bat.*, 1, pars post., p. 280. — M. timorensis Blum., *Mus. bot. lugd.-bat.*, 2, p. 84. — M. amboinensis Blum., l. c.

Trophis spinosa Wall., *Cat.*, 4641, B, C, D.

Batis fruticosa Roxb ? Wall., *Cat.*, 4643, B.

Morus calcar-Galli A. Cunningh. ms.; Endl. *Gen. plant.*, suppl. 4, pars 2, p. 34.

Exs. Nouvelle-Calédonie, *Deplanche*, cat. n° 177. Petit buisson de 45 à 50 centimètres de haut, île d'Iué, juin-juillet 1860 (herb. Mus. par. et mus. colon.). — Port-de-France, bord de la mer ; Gatape 1860, *Vieillard*, (herbier de la Nouvelle-Calédonie, n. 1214). Arbuste sarmenteux et épineux (herb. Mus. par., mus. colon., Vieillard et Lenormand). — Com-

mun. île des Pins et Nouvelle-Calédonie *Pancher*. Sous-arbrisseau épineux, 3 mètres. Fl. jaunes en janvier (herb. Mus. par.). — Nouméa, Nouvelle-Calédonie, septembre-octobre 1868, *Balansa*, n. 617. Arbrisseau rameux, diffus et souvent grimpant (herb. Mus. par.). — Bourail, Nouvelle-Calédonie, mars 1869, *Balansa*, n. 1046. Arbrisseau diffus et épineux de 2 mètres de hauteur (herb. Mus. par.).

Se trouve aussi dans l'Inde, en deçà et au delà du Gange, dans les îles de la Sonde, aux Philippines, aux îles Loo-choo, au Japon et à la Nouvelle-Hollande.

Obs. — On peut maintenant observer dans les herbiers tou ses intermédiaires possibles entre les *Cudrania javanensis* et *obovata* Trec. On doit donc réunir ces deux formes en une seule espèce, dont il est à peu près certain que le *C. pubescens* Trec. est une simple variété.

SPARATTOSYCE (1).

Flores dioici, in receptaculis ficiformibus primum inclusi et congesti. *Receptacula* demum in longitudinem rupta, explicata et plana. Masc. *Perigonium* 3-6-phyllum foliis imbricatis, basi auriculatis, auriculis minimis staminum filamentis imis interpositis. *Stamina* 3-6, perigonii foliis opposita iisdemque multo breviora, antheris subglobosis, extrorsis, bilocularibus, loculis rima longitudinali dehiscentibus. *Rudimentum* ovarii centrale stigmatibus 1-2 brevibus filiformibus superatum. Fem. *Perigonium* 6-10-phyllum foliis imbricatis. *Ovarium* sessile, pericarpio tenui; ovulum unicum anatropum, e summo pariete pendulum, micropyle supera. *Stylus* filiformis, sublateralis, longissimus et os apicis receptaculi multum transgrediens; stigma 1 vel stigmata 2 filiformia, papillosa. *Fructus* perigonio persistenti stipatus, achænium mentiens sed vere drupeolatus, epicarpio indistincto, mesocarpio tenuissimo, carnoso-mucoso, endocarpio crasso, osseo. *Semen* prope apicem loculi, sub origine styli demum rupti insertum; testa tenuis. *Embryo* exalbuminosus, cotyledonibus latissimis, obtusissimis, reclinatis et

(1) Des mots grecs σπαράττειν, lacérer, et συκῆ, figuier, pour rappeler la déchirure du réceptacle, qui est un des caractères les plus saillants de ce genre.

conduplicato-corrugatis, inferiore externa interiorem superiorem involvente et radiculam superam, cylindricam, acutam, auriculis latissimis circumducente.

Arbor neo-caledonica, dioica, foliis alternis, integris, stipulis amplexicaulibus gemmam terminalem divaricato-obliquam arcte tegentibus, dein caducis ; receptaculis axillaribus.

Ce genre constitue un vrai type néo-calédonien. Par l'organisation de ses fleurs femelles et par son réceptacle ne présentant d'abord qu'une petite ouverture au sommet, il a sa place marquée auprès du genre *Ficus*. Il en diffère néanmoins beaucoup par les styles dépassant longuement l'ouverture du réceptacle femelle; par les fleurs mâles, dont les étamines sont extrorses, comme celles des *Antiaris* et des *Sorocea*, ce qui établit un lien de plus entre les tribus des *Ficeæ* et des *Brosimeæ*, tribus qui se touchent dans la classification de M. Trécul ; enfin par la rupture longitudinale des réceptacles mâles et femelles, qui sont largement ouverts et tout à fait plans au moment de la maturité. Ce dernier caractère ne se retrouve dans aucun autre genre d'Artocarpées.

Sparattosyce dioica, glabra, ramis subsinuatis, griseis vel fuscescentibus ; foliis petiolatis, varie ellipticis vel obovatis, coriaceis, supra lævibus, infra primum rubiginosis, demum pallidis et adpressissime furfuraceis, vel pallide viridibus et omnino glabris, penninervibus ; stipulis brevibus, acutis, furfuraceis ; receptaculis solitariis vel geminatis, pedunculatis, facie exteriore pauci-, apice multi-bracteatis, et cum pedunculo et bracteis exterioribus adpresse fulvo-tomentosis; masculis floribus numerosis repletis, femineis flores circiter 6 tantum amplectentibus; perigonii masculi foliis late lanceolatis, facie exteriore puberulis, feminei lanceolatis, glabris, acutissimis.

Arbor 6-10 metr. alta. Foliorum petiolus 2-3 centim. longus, rimulis transversis striatus, facie superiore sulcatus, medio sulco in longitudinem costulato, limbus basi acutus vel subobtusus, apice subacuminatus. Foliorum late ellipticorum limbus 6 1/2-16 1/2 centim. longus, 3 1/2-9 1/2 centim. latus, longe ellipticorum 12-19 cent. longus, 4 1/2-7 centim. latus. Receptaculum floriferum pedunculo circiter 1 centim. longo paulo brevius, facie exteriore bracteis 2-3, ore et summa facie exteriore bracteis multis onustum. Pedunculus 1-2-bracteatus vel nudus. Bracteæ pedunculi bracteæque exteriores receptaculi triangulares, tomentosæ, cæt

late lanceolatæ, glabræ. Receptaculum femineum primum ellipticum, dein ficiforme, fructiferum interdum irregulare, statim ante dehiscentiam 1 1/2 centim. longum, pedunculo 2 centim. longo. Ovarium subobovatum. Fructus obovato-subglobosus. Semen subglobosum.

Exs. Kanala, *Vieillard*, herb. de la Nouvelle-Calédonie, n. 1245, 3245 et 3246. Arbre moyen, très-rameux ; rameaux étalés, feuilles cassantes. Bord des torrents, 1866 et 1867. Fl. et fr. (herb. Vieillard et Lenormand). — Forêts de la baie du Prony, Nouvelle-Calédonie, septembre 1868. Fl. *Balansa*, n. 131. Dioïque : Arbre de 8 mètres de hauteur. Le réceptacle renfermant les fleurs mâles, d'abord globuleux, se fend longitudinalement à l'époque de la floraison et devient plan par l'écartement des côtés (herb. Mus. par.). — Forêts situées dans le bassin de la Dumbea, à 20 kilomètres à l'est de Koé, Nouvelle-Calédonie, 21 novembre 1868. Fl. *Balansa*, n. 131[a] (herb. Mus. par.). — Arbre de 6-7 mètres de hauteur ; bosquets de l'intérieur de la Nouvelle-Calédonie, entre Saint-Louis et Ounea, 14 janvier 1869. Fruct. *Balansa*, n. 1011 (herb. Mus. par.). — Forêts situées au-dessus de Ténè, près de Bourail, Nouvelle-Calédonie, 17 mars 1869. Fruct. *Balansa*, n. 1011[a] et 1011[b]. Arbre de 6-7 mètres de hauteur. A la maturité des graines, le réceptacle, d'abord globuleux, se fend longitudinalement et devient plan (herb. Mus. par.).

EXPLICATION DE LA PLANCHE 6.

Sparattosyce dioica Bur.

(Toutes les figures sont plus ou moins amplifiées.)

Fig. 1. Inflorescence mâle avant l'ouverture du réceptacle.

Fig. 2. La même, coupée longitudinalement.

Fig. 3. Inflorescence mâle vue par le côté extérieur, après que le réceptacle s'est ouvert par déchirure et étalé en éventail.

Fig. 4. La même, vue par le côté intérieur.

Fig. 5. Fleur mâle isolée.

Fig. 6. La même, étalée artificiellement et vue par en haut.

Fig. 7. Une des pièces du périanthe.

Fig. 8. Anthère vue par le côté intérieur.

Fig. 9. La même, vue par le côté extérieur.

Fig. 10. Inflorescence femelle.

Fig. 11. Fleur femelle dont le pistil présente deux stigmates.

Fig. 12. Pistil dont le style se termine par un seul stigmate.

Fig. 13. Ovaire ouvert et montrant l'ovule pendant.

Fig. 14. Inflorescence femelle fructifère, un peu avant la rupture du réceptacle.

Fig. 15. La même, coupée en long.

Fig. 16. Un des fruits.

Fig. 17. Le même, onvert pour montrer la graine.

Fig. 18. Embryon.

FIN DU ONZIÈME VOLUME.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

ORGANOGRAPHIE, ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES.

MONOGRAPHIES ET DESCRIPTIONS DE PLANTES.

MÉLANGES.

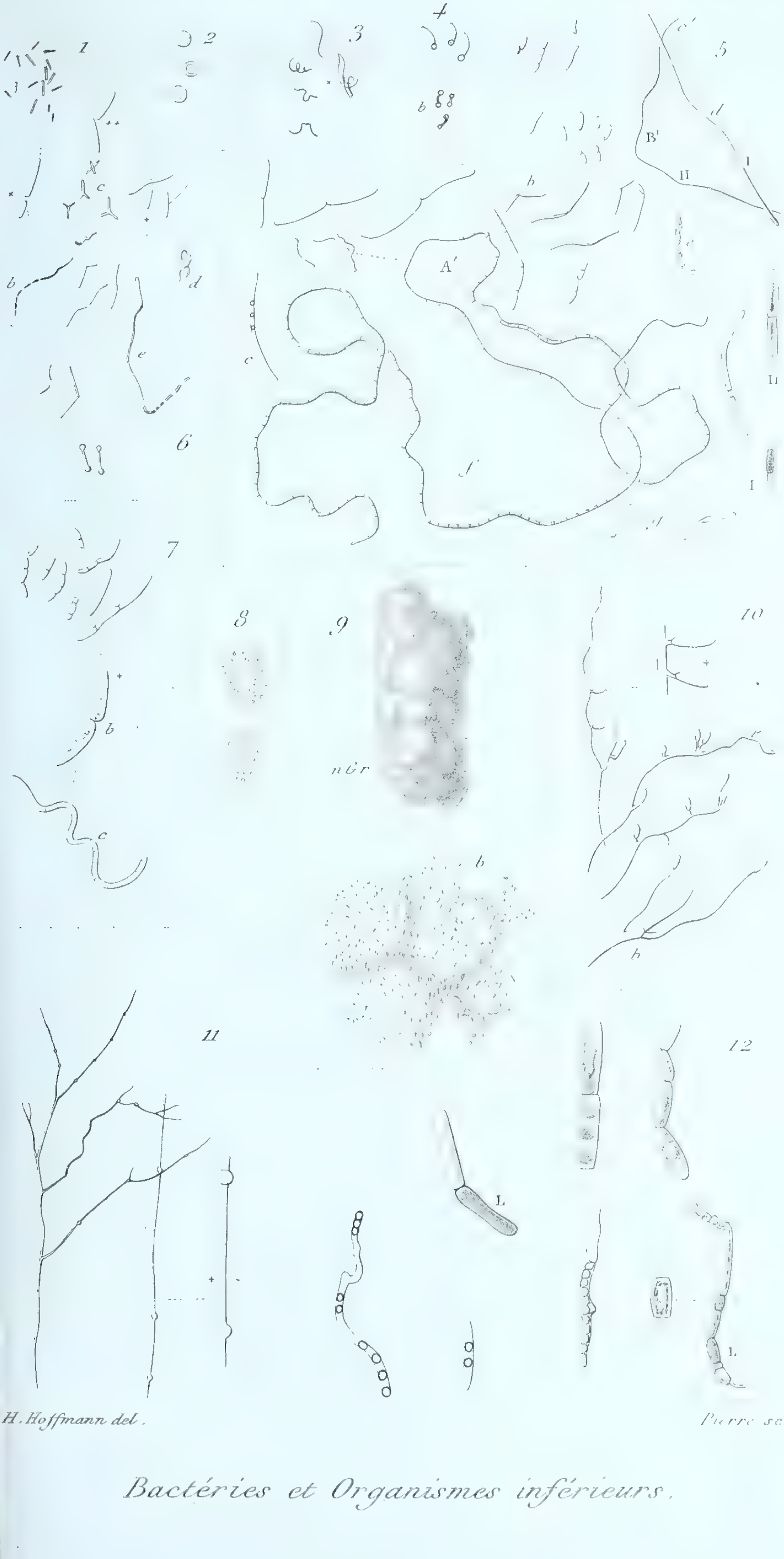
TABLE DES MATIÈRES

PAR NOMS D'AUTEURS.

TABLE DES PLANCHES

RELATIVES AUX MÉMOIRES CONTENUS DANS CE VOLUME.

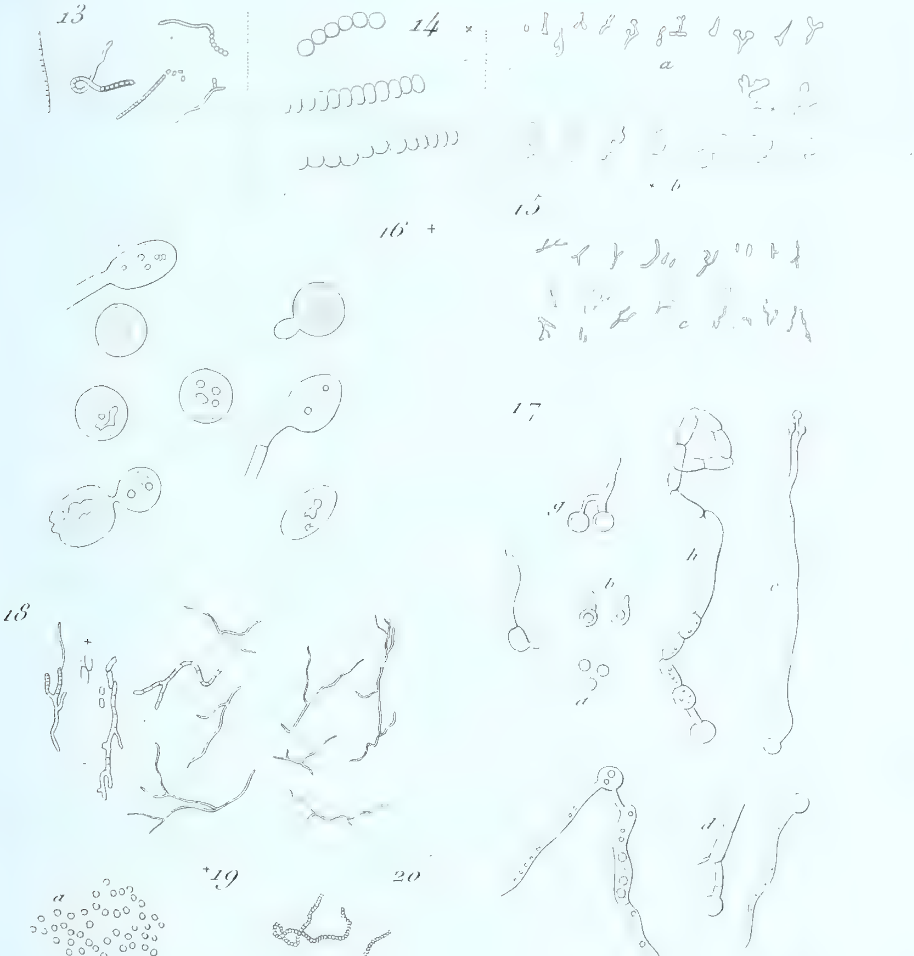
Paris. — Imprimerie de E. MARTINET, rue Mignon, 2.



H. Hoffmann del. Pierre sc.

Bactéries et Organismes inférieurs.

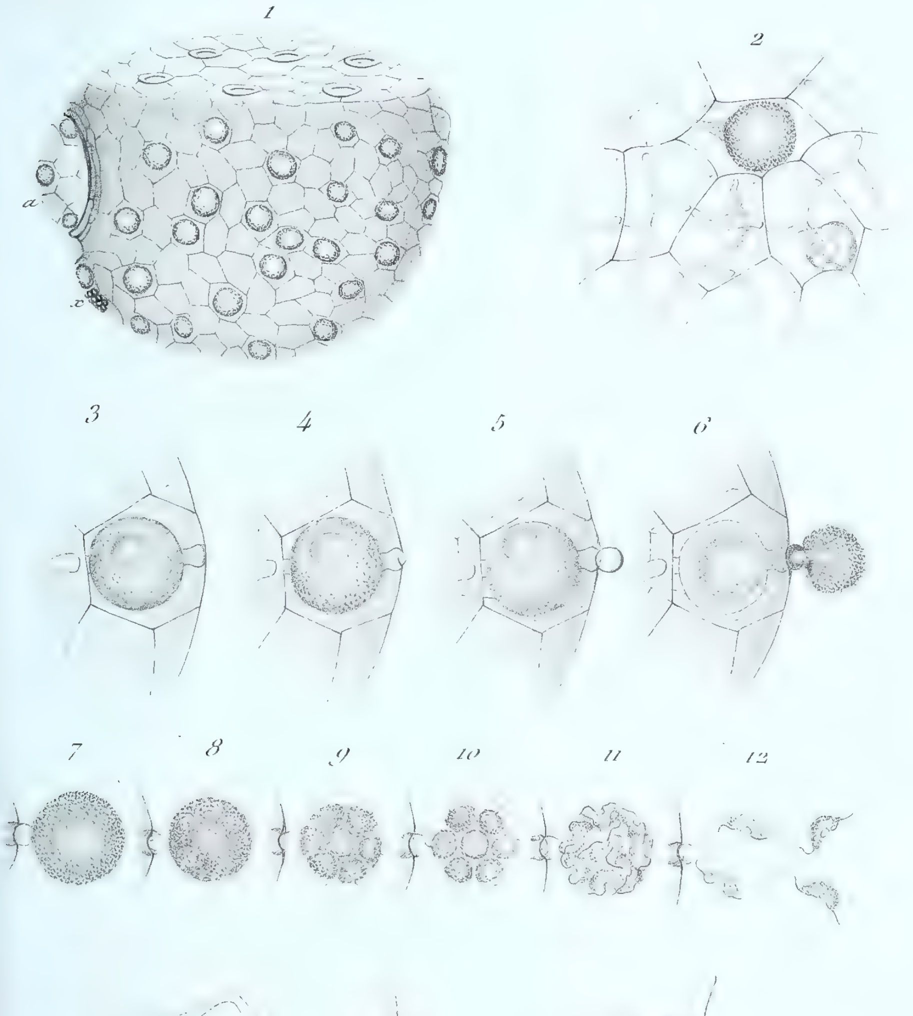
Imp. A. Salmon, r. Vieille-Estrapade, 15, Paris.



H. Hoffmann del. *Pierre sc.*

Bactéries et Organismes inférieurs.

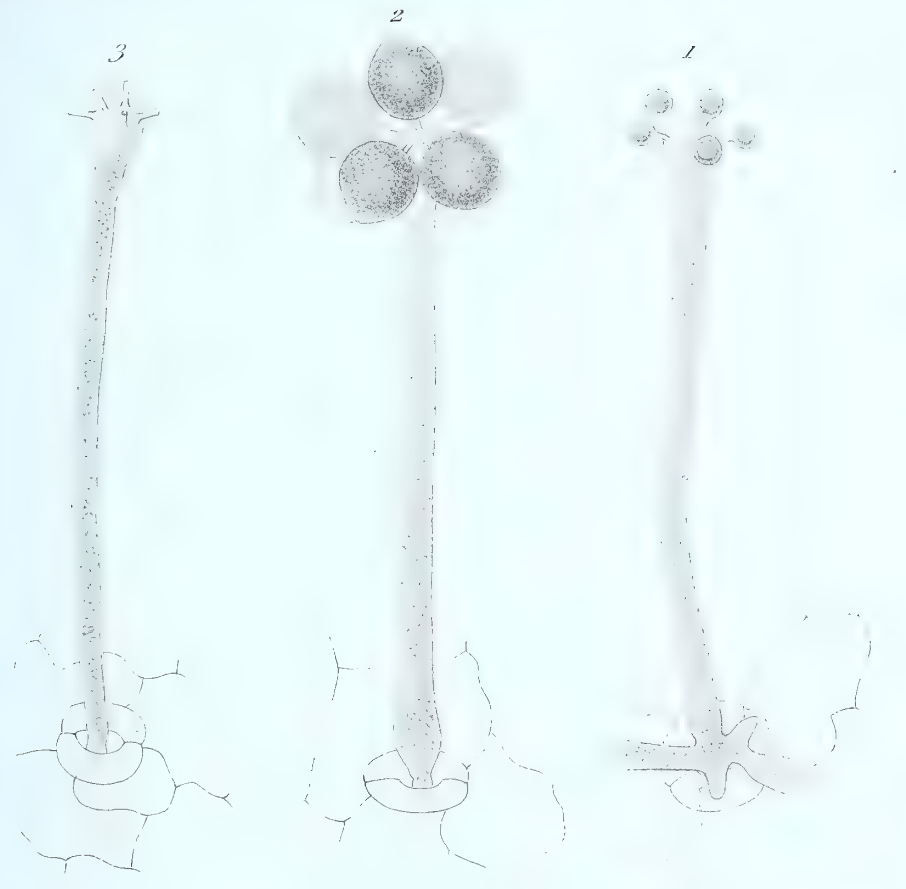
Imp. A. Salmon, r. Vieille-Estrapade 15 Paris.



Aut. del. Pierre sc.

Cystosiphon Pythioides.

A. Salmon, imp. r. Vieille-Estrapade 15. Paris.



Aut. del. Pierre sc.

Basidiophora entospora.

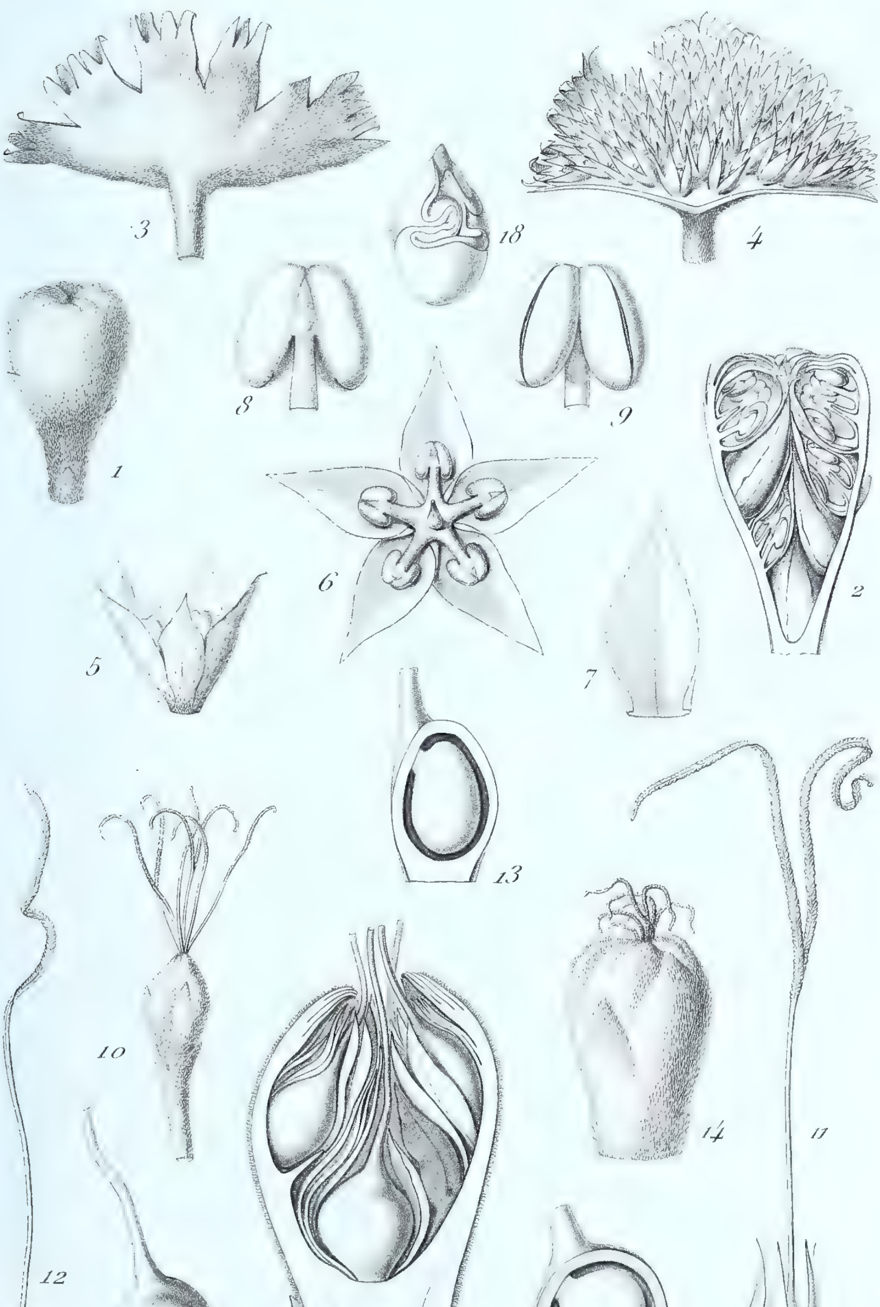
A. Salmon imp. r. Vieille-Estrapade, 15, Paris.



Riocreux del. Picart

Cinchona Calisaya microcarpa Wedd.

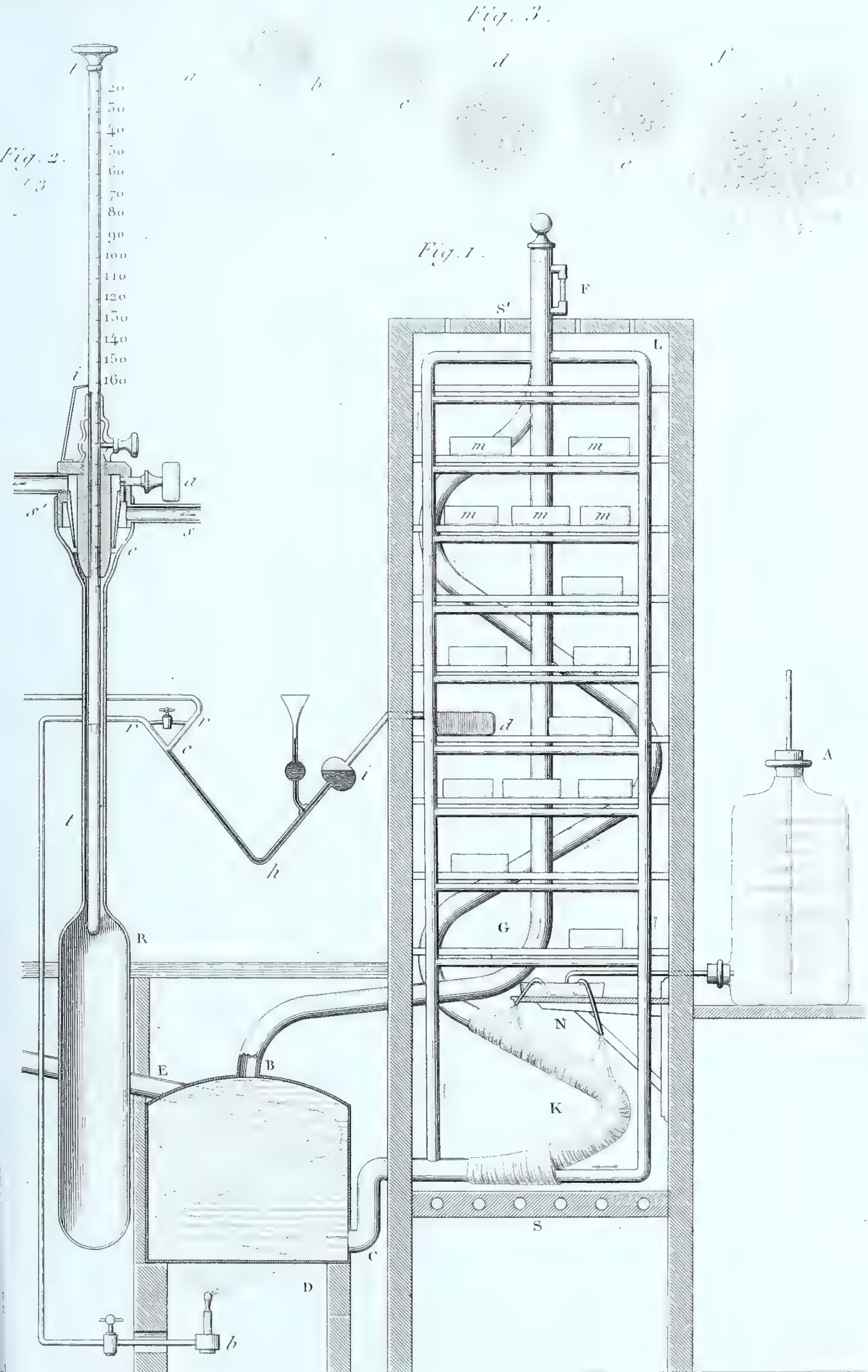
A. Salmon r. Vieille-Estrapade, 15, Paris



Grabowski del. Picart sc.

Sparattosyce dioica. Bur.

Imp. A. Salmon, r. Vieille-Estrapade, 15, Paris.



rbauer del. Pierre sc.

Fig. 1. Etuve. 2. Thermorégulateur. 3. Aspergillus niger.

Imp. A. Salmon, r. Vieille-Estrapade, 15, Paris.